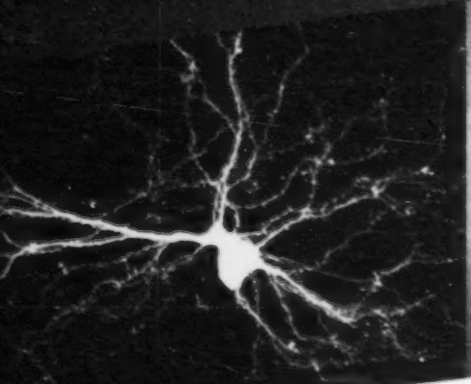
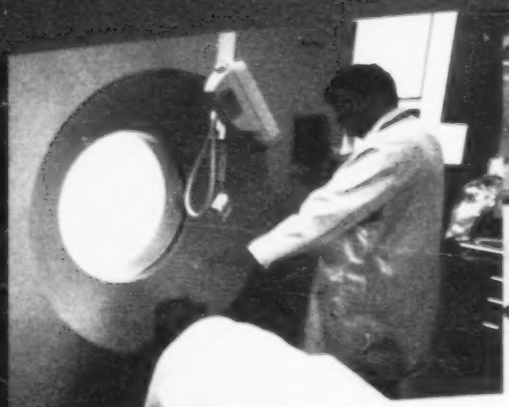
Conseil de la science et de la technologie

Avis

Les neurosciences au Québec

Un créneau d'excellence au bénéfice de la société





science et technologie au service de la société

Québec

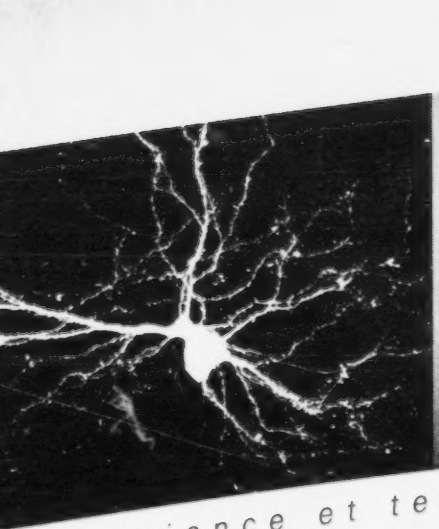
105-05607/

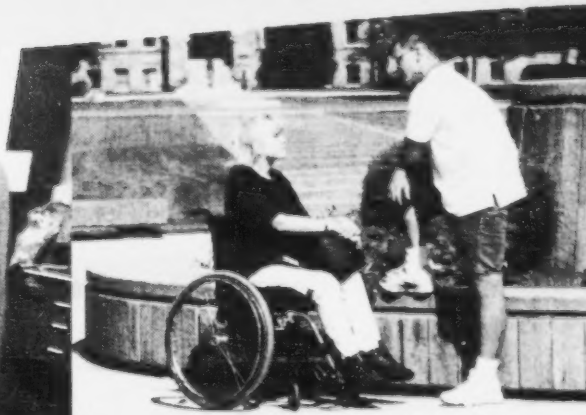
Conseil de la science
et de la technologie

Avis

Les neurosciences au Québec

Un créneau d'excellence au bénéfice de la société





science et technologie au service de la société

Conseil de la science et de la technologie
1200, route de l'Église, bureau 3.45
3e étage
Sainte-Foy (Québec) G1V 4Z2
Courriel : cst@cst.gouv.qc.ca
Site Internet : http://www.cst.gouv.qc.ca

Rédaction
Richard Blanchette
Agent de recherche
Alain Bergeron
Secrétaire général par interim

Révision linguistique
Renée Dolbec
Le Graph

Coordination des communications
Katerine Hamel
Agente d'information

Mise en pages
Catherine Moreau
Secrétaire

Conception graphique de la page couverture
Balatti Design

Impression
Les Impressions 03

Crédit pour la photographie de neurone
Paul De Koninck, Ph.D.
Professeur Adjoint
Département de Biochimie et de Microbiologie, Université Laval
Centre de Recherche Université Laval Robert-Giffard (CRULRG)

Dépôt légal : 1er trimestre 2005
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 2-550-44115-X

Pour faciliter la lecture du texte, le genre masculin est utilisé sans aucune intention discriminatoire.
© Gouvernement du Québec 2005

Sainte-Foy, Mars 2005

Monsieur Claude Béchard, ministre
Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation
Gouvernement du Québec
Québec

Monsieur,

Conformément aux dispositions du Chapitre IV, section 2 de la Loi sur le ministère du Développement économique et régional et de la Recherche, j'ai l'honneur de vous transmettre l'avis du Conseil de la science et de la technologie intitulé *Les neurosciences au Québec. Un créneau d'excellence au bénéfice de la société*.

Je vous prie d'accepter, Monsieur le Ministre, l'expression de ma haute considération.

La présidente,

Hélène P. Tremblay

Remerciements

Nous désirons exprimer notre profonde gratitude aux membres du comité de pilotage pour leurs précieux commentaires et leurs conseils judicieux : les docteurs Alain Beaudet, Francine Gervais, Rémi Quirion et Serge Rossignol ainsi que madame Hélène Payette et messieurs Stéphane Bédard, Yves De Koninck et Martin Godbout (voir annexe 1). Par ailleurs, nous tenons à signaler que le Conseil assume l'entière responsabilité de la version finale de l'avis. La liste des membres du Conseil apparaît en annexe 2.

La rédaction de cet avis, de même que du document intitulé *Portrait statistique des neurosciences au Québec,* a reposé essentiellement sur les épaules de M. Richard Blanchette, chercheur au Secrétariat du Conseil, qui mérite à ce titre de nombreux éloges, car le travail initial de recherche a été particulièrement ardu. Celui-ci a pu compter sur la supervision de M. Alain Bergeron, secrétaire général par intérim, de même que sur la contribution de Mme Monique Blouin pour la recherche documentaire et de Mmes Katerine Hamel, Catherine Moreau et Lauraine Bérard pour l'édition et la diffusion du document. Quelques éléments des chapitres 1 et 2 de l'avis proviennent d'une étude exploratoire effectuée par Mme Julie LeBlanc Hildebrand.

Table des matières

Préambule 1

Introduction 3

1 Présentation générale du domaine des neurosciences 5

1.1 Ce que sont les neurosciences 5

1.2 Importance socioéconomique des neurosciences 8

1.3 Perspectives sur la recherche en neurosciences 13

2 Situation des neurosciences au Québec 19

3 Trois chantiers pour favoriser le développement des neurosciences au Québec 25

3.1 Concevoir et mettre en œuvre une stratégie de développement scientifique des neurosciences 26

3.2 Développer une industrie des neurosciences couvrant la filière du médicament, le secteur du matériel médical et le secteur des services 31

3.3 Favoriser la valorisation sociale de la recherche en neurosciences dans les milieux de pratique et la diffusion de l'information vers la population 35

Annexe 1 Membres du comité de pilotage 39

Annexe 2 Membres du Conseil de la science et de la technologie 41

Annexe 3 Liste des travaux du Conseil depuis 1998 43

Préambule

En choisissant de publier un avis sur les neurosciences au Québec, le Conseil pourra en avoir surpris certains. D'une part, il s'agit d'un domaine de recherche jouissant déjà d'une longue tradition d'excellence et qui n'a apparemment pas besoin d'un soutien plan de développement comme ceux que le Conseil a proposés dans ses avis sur la nanotechnologie ou la bio-informatique, par exemple. D'autre part, le champ disciplinaire que forment les neurosciences se situe principalement dans les sciences de la santé, un secteur rarement abordé par le Conseil jusqu'à ce jour.

Au départ, l'intention du Conseil n'était pas de produire un avis, mais une étude descriptive sur les neurosciences. Il trouvait en effet opportun d'examiner de plus près l'organisation et le financement d'un des fleurons de la recherche scientifique au Québec, d'autant plus qu'il n'existait aucune étude synthétique sur le sujet. De nombreux pays ou régions cherchent actuellement à circonscrire les domaines qui doivent devenir le fer de lance de leur développement scientifique et économique et leur permettre de se démarquer à l'échelle internationale. Comme le Québec ne peut échapper à cette tendance, il importait de vérifier comment un domaine de recherche vedette comme celui des neurosciences soutenait sa réputation.

C'est au moment de soumettre l'étude à la critique d'un groupe d'experts que ces derniers ont convaincu le Conseil de compléter son travail exploratoire par un avis : aussi fort soit-il, le domaine des neurosciences souffre en effet de certaines faiblesses auxquelles il faut s'attaquer. La communauté qui s'y consacre doit se donner une stratégie qui maintiendra et développera la position acquise au fil des ans.

Que le domaine des neurosciences fasse (principalement) partie des sciences de la santé présente un intérêt additionnel pour le Conseil. La santé est devenue l'une des principales préoccupations de la population québécoise. En font foi notamment les résultats d'une enquête réalisée pour le Conseil, en 2004, dans le cadre de son projet *Perspectives STS* (Sciences, Technologie et Société). L'importance de la R-D en santé qui s'effectue au Québec – importance en termes de qualité ou de financement – ne peut être ignorée par un organisme comme le Conseil, dont le mandat couvre l'ensemble du développement scientifique et technologique. De plus, dans son rapport de conjoncture 2004, le Conseil plaide pour un rapprochement plus harmonieux entre les sciences, la technologie et la société. Les neurosciences jouent sous cet aspect un rôle crucial, car elles détiennent de nombreuses clés relatives aux problèmes de santé mentale, de marginalité sociale et d'apprentissage. Qui plus est, l'étendue de l'expertise du Conseil lui permet d'aborder les neurosciences avec une vision transversale de leurs ramifications vers les sciences naturelles et le génie, de même que vers les sciences sociales et humaines. Pareille intégration multidisciplinaire ne peut qu'accroître les synergies entre secteurs de recherche et d'intervention, de manière à renforcer la position actuelle des neurosciences au Québec.

Les membres du Conseil souhaitent que cet avis et le document qui l'accompagne, intitulé *Portrait statistique des neurosciences au Québec*, puissent servir d'outils de référence et éclairer ceux qui auront pour tâche au cours des prochaines années d'orienter la recherche et l'innovation.

Hélène P. Tremblay
Présidente

Alain Bergeron
Secrétaire général par intérim

Introduction

Le présent avis s'insère dans le sillage des travaux que mène le Conseil de la science et de la technologie sur des secteurs scientifiques et technologiques de pointe, comme les nanotechnologies et la bio-informatique. Le cas des neurosciences se distingue cependant des deux autres en ce qu'il constitue un domaine de recherche déjà bien développé au Québec, et non un domaine en émergence dont il faut assurer les fondations. Il s'agit en fait d'un de ceux qui connaissent les meilleures performances sur les plans scientifique et financier. C'est du moins l'une des conclusions qu'on peut tirer de l'étude effectuée par le Conseil et publiée en parallèle au présent avis[1].

D'un autre côté, même si les neurosciences forment l'un des domaines scientifiques vedettes du Québec, une réflexion sur ses forces et ses faiblesses, de même que sur ses possibilités de développement, reste tout à fait justifiée. La politique scientifique québécoise doit en effet s'intéresser au soutien à apporter aux créneaux où le Québec excelle déjà et ne pas tenir pour acquis que la seule inertie du système suffira à en conserver les atouts. Cela est d'autant plus vrai que la mondialisation de la recherche vient modifier les conditions de réussite dans ces créneaux, quel que soit leur lieu de déploiement. De plus, la situation démographique du Québec rend particulièrement précaires certains éléments essentiels, par exemple la constitution d'une relève suffisante pour maintenir le bassin des chercheurs. Il faut faire en sorte qu'un domaine comme les neurosciences maintienne ses forces et poursuive sa progression, voire qu'il acquière à l'échelle internationale une réputation qui fera du Québec l'une des régions de prédilection pour la recherche de pointe, attirant de ce fait chercheurs et capitaux étrangers. On doit également s'assurer d'en faire bénéficier l'industrie et l'ensemble de la société québécoise.

Les neurosciences s'attaquent à des questions d'une pertinence sociale incontestable. Leurs découvertes et les applications qui en découlent couvrent tous les secteurs d'activité de l'être humain. Leurs retombées sont multiples, que ce soit sur le plan de l'amélioration de la santé de la population ou au regard de produits industriels et commerciaux qui ont un potentiel considérable sur les marchés d'exportation. Elles se révèlent aussi particulièrement pertinentes dans le contexte des sociétés contemporaines qui, comme celle du Québec, se veulent fondées sur le savoir et sur l'information.

Le présent avis sur les neurosciences recommande des moyens à prendre pour renforcer les assises scientifiques du domaine et favoriser la valorisation des résultats de la recherche vers les entreprises, mais aussi vers les milieux de pratique et la société en général.

Le premier chapitre présente le domaine des neurosciences. Il s'attarde sur ses fondements et ses spécialités constitutives ainsi que sur son importance socioéconomique. Il offre aussi un aperçu des tendances de la recherche dans le domaine.

Le chapitre 2 présente les principaux points saillants de l'étude que le Conseil a menée sur les neurosciences au Québec et met en relief ses principales forces et faiblesses.

Le chapitre 3 propose trois grandes recommandations qui forment une stratégie intégrée pour favoriser le développement des neurosciences au Québec au cours des prochaines années. Sont abordées tour à tour les dimensions scientifique, économique et sociale de cette stratégie.

---

1 Conseil de la science et de la technologie, *Portrait statistique des neurosciences au Québec*, CST, mars 2005.

1 Présentation générale du domaine des neurosciences

Le présent chapitre consiste en un survol rapide du domaine des neurosciences et de ses différents champs de spécialisation. On y traite également de l'importance socioéconomique des neurosciences, ainsi que de certaines des grandes tendances actuelles et futures de la recherche à l'échelle internationale.

1.1 Ce que sont les neurosciences

Les neurosciences forment l'un des domaines les plus complexes des sciences de la vie. Elles réunissent un très grand nombre de spécialités dont le point commun est d'étudier sous un aspect ou un autre le cerveau et le système nerveux. Elles sont donc appelées à s'intéresser à des phénomènes aussi variés que la perception, la douleur, les émotions, le sommeil, le langage, l'apprentissage, l'attention, la mémoire, l'imagination, la cognition et la conscience. En somme, on peut dire que les neurosciences touchent directement ou indirectement à tous les types d'activités humaines.

Les origines scientifiques des neurosciences

Comme champ disciplinaire, les neurosciences tirent leur origine de la volonté d'intégrer l'ensemble des recherches biologiques et médicales portant sur le système nerveux, tout en jetant également des ponts vers d'autres disciplines (psychologie, philosophie…) qui s'intéressent aux dimensions comportementales et cognitives de l'esprit humain. Historiquement, cette intégration s'est effectuée autour de trois grandes théories[2] :

- La théorie réflexe de Sir Charles Sherrington (~1906), qui stipule que les réflexes sont les éléments de base des comportements complexes[3]. Cette théorie a été incontestée durant 50 ans, mais on lui reconnaît maintenant des limites[4].

- La théorie du neurone, qui considère que le système nerveux est constitué d'éléments discrets ou neurones. « Ramon y Cajal[5] propose que les cellules nerveuses forment des entités uniques et indépendantes, ou neurones, juxtaposées les unes aux autres[6]. »

[2] Jean-Didier Vincent, *Éthique et neurosciences*, Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), Paris, 15 octobre 1995. [CIP/BIO/95/CONF.002/3]

[3] « Reflexes are the building blocks of complex behavior. Complex behavior results from compound reflexes and their successive combination or chaining together. Unchallenged for 50 years!! » Voir University of Oregon [En ligne] http://www.uoregon.edu/~mtrctl/ems332/week1.2.html (page consultée le 29 juillet 2004).

[4] « Reflex Theory & motor control theory characteristics : Absent is the explanation of uniqueness of movement and repetition of performances; Cannot account for adjustments in the execution of each motor performance; Can be used to explain consistency of performances as related to each movement's spatial and temporal characteristics. » Voir Metropolitan State College, Denver [En ligne] http://clem.mscd.edu/~broida/hps450/CH02/tsld021.html (page consultée le 29 juillet 2004).

[5] La revue *Nature* a honoré Santiago Ramón y Cajal comme « *anniversarian of the year* » pour souligner la publication en 1904 du troisième et dernier volume de son *Histología del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados*, dans lequel il prouve l'individualité des neurones (J.L. Heilbron et W.F. Bynum, « 1904 and all that », *Nature*, vol. 426, 18/25 décembre 2004, p. 761 et s.).

[6] Jean-Pierre Changeux, « Le cerveau : de la biologie moléculaire aux sciences cognitives ». Texte de la 3e conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 3 janvier 2000 [En ligne] http://www.odilejacob.fr/utls/conf2.asp

- La théorie des localisations, qui relie les fonctions et facultés mentales à des régions spécialisées du cerveau. « La théorie de la localisation des fonctions cérébrales – la notion qui spécifie que les processus mentaux sont correlés [*sic*] avec des régions précises du cerveau – et les tentatives d'établir des localisations grâce à des observations empiriques [...][7]. »

Les spécialités de recherche en neurosciences

L'intégration des différents champs de recherche facilite grandement l'échange d'informations de sorte que chacun peut contribuer à l'avancement général des connaissances dans le domaine. Elle favorise également, de ce fait, l'apparition de découvertes à l'interface des uns et des autres. Cependant, malgré la communauté de langage qui les lie, les neurosciences demeurent constituées de nombreuses spécialités qui ont chacune leurs objets de prédilection. Une nomenclature de ces spécialités ne peut être parfaitement exhaustive, les neurosciences ne cessant de se ramifier et de s'associer à d'autres champs disciplinaires. Les treize spécialités énumérées ci-dessous ne constituent pas non plus des classes mutuellement exclusives, puisqu'elles sont définies tantôt par leur objet d'étude, tantôt par leur niveau d'analyse. Elles offrent néanmoins un bon aperçu de la variété et de la richesse du domaine. Font donc partie des neurosciences :

- **La neuroanatomie**, qui étudie les structures du système nerveux visibles à l'œil nu ou au microscope.

- **La neurophysiologie**, qui étudie l'activité électrique des neurones. Elle comprend la neurostimulation, la neuromodulation et le *neurosensing*.

- **La neurobiologie moléculaire et cellulaire**, qui étudie les différentes molécules et structures cellulaires responsables de l'activité nerveuse ainsi que les gènes qui leur sont associés.

- **La neurogénétique**, qui cherche à identifier les gènes responsables des maladies mentales et des désordres neurologiques.

- **La neuroendocrinologie**, qui étudie l'activité hormonale en lien avec le système nerveux.

- **La neurobiologie du développement**, qui étudie le développement embryonnaire et la maturation du système nerveux, la régénération, la neurodégénérescence (notamment le vieillissement) menant à la destruction sélective de populations de neurones et à la disparition des fonctions cérébrales.

- **La neuropsychologie**, qui traite des bases neurologiques des comportements normaux (affectivité, agressivité) ou déviants (violence excessive). On parle aussi de neuroéthologie lorsqu'il est question des bases neuronales du comportement naturel des animaux.

---

[7] Bref historique [En ligne] http://www.irmf.net/pres1.html

- **Les neurosciences cognitives**, qui expliquent de quelle manière les êtres humains apprennent, pensent et communiquent, en examinant l'activité des différentes régions du cerveau.

- **La neuropharmacologie**, qui se penche sur les agents chimiques ayant un effet sur le système nerveux (modification de l'humeur ou du comportement), tels que la morphine, la caféine, l'alcool, les antidépresseurs.

- **La neuro-imagerie**, qui est essentiellement un ensemble d'outils – tomographie assistée par ordinateur (*scanner*), tomographie par émission de positons (*PET Scan*), imagerie par résonance magnétique (*IRM*) – permettant de cartographier le cerveau humain sur les plans structurel et fonctionnel. Elle se développe aussi du côté de l'imagerie cellulaire.

- **La neuroinformatique**, qui cherche à mettre au point des outils (base de données et autres) pour traiter la quantité phénoménale d'informations issues des recherches en neurosciences.

- **Les neurosciences computationnelles**, qui s'intéressent à la façon dont le système nerveux reconnaît les visages, mémorise l'information, etc.[8]

- **La neuroprosthétique (neurotechnologie[9])**, qui met au point des dispositifs électroniques compatibles avec le système nerveux.

La recherche biomédicale est au cœur des neurosciences. Le fait qu'au moins la moitié des spécialités précédentes en fasse partie le démontre bien. Cette recherche s'intéresse à l'anatomie et à la morphologie du système nerveux, à son développement, à sa régénération, à son fonctionnement et à son dysfonctionnement, ainsi qu'aux lésions qui affectent le contrôle moteur et les fonctions cognitives et sensorielles. Il s'agit ici de décrire et de caractériser l'organisation ou le fonctionnement du système nerveux afin de recourir à des interventions thérapeutiques (soins, médication, chirurgie) plus efficaces et mieux ciblées.

De nombreux objets d'étude dans le domaine biomédical

---

[8] « On décrit souvent les «neurosciences computationnelles» comme la branche des neurosciences qui traite des modèles simulés sur ordinateur. Ainsi, l'expression fait référence à la méthodologie plutôt qu'à l'objet d'étude [...] mais l'objet des neurosciences computationnelles est indépendant d'un quelconque support informatique (qui n'en est que le moyen éventuel), ou même d'une analogie avec l'ordinateur (qui n'est qu'une théorie computationnelle parmi d'autres). » Voir Romain Brette, *Modèles impulsionnels de réseaux de neurones biologiques*, École doctorale Cerveau-Cognition-Comportement, Paris, 9 décembre 2003, p. x, note 1. [Thèse de doctorat en neurosciences computationnelles dirigée par Yves Burnod]

[9] La neurotechnologie fait partie d'un ensemble de recherches d'inspiration biologique (*biologically inspired research*) qui portent, entre autres, sur l'intelligence artificielle, les réseaux neuronaux artificiels et la computation évolutive. La neurotechnologie cherche à comprendre et à contrôler les fonctions du système nerveux grâce à l'électronique et à l'ingénierie. Les techniques et les instruments utilisés pour le développement de la neurotechnologie comprennent notamment l'imagerie cérébrale, les biopuces (*biochips*), le génie génétique, l'implantation cellulaire, la stimulation électronique.
Sources : WWW Resources on Biologically Inspired Research on Intelligent Systems, Computing, Information Science, Physics and Material [En ligne]
http://www.egr.msu.edu/~hujianju/Biologically_inspired.htm; Zack Lynch, *What is Neurotechnology?* 3 mars 2003 [En ligne] http://www.corante.com/brainwaves/archives/000265.html.

Autres domaines de recherche en lien avec les neurosciences

En raison de l'importance du rôle que joue le système nerveux dans l'organisme, les recherches en neurosciences ont des applications dans plusieurs autres spécialités médicales qui n'apparaissent pas dans les nomenclatures, la psychiatrie par exemple, mais aussi la cardiologie, l'immunologie, l'ophtalmologie, etc. D'autres disciplines scientifiques complètent et prolongent les recherches en neurosciences sur des aspects fondamentaux et appliqués, comme la biochimie, la chimie organique et les travaux menés en mathématiques et en génie, notamment sur les réseaux neuromimétiques (génie neuronal) et sur l'intelligence artificielle[10].

Ramifications vers les sciences humaines

Par-delà leurs aspects biologiques et physicochimiques, les objets qu'étudient les neurosciences, que ce soit l'apprentissage, la maladie mentale, les toxicomanies et les atteintes au système nerveux, comportent d'importantes dimensions sociales. Les neurosciences débordent ainsi les sciences naturelles, les sciences de la vie et du génie, pour s'associer à certains champs d'étude des sciences sociales et humaines. Pensons, par exemple, à certaines spécialités des sciences de l'éducation qui examinent les conditions favorisant la cognition, l'étude sociologique et épidémiologique des déterminants du suicide et de la maladie mentale, la conception des services de réadaptation pour les toxicomanes, etc.

Les neurosciences sont donc l'un des secteurs de recherche les plus interdisciplinaires auxquels on puisse penser, s'intéressant largement à la santé, certes, mais ayant de nombreuses ramifications vers les sciences appliquées et les sciences sociales et humaines.

1.2 Importance socioéconomique des neurosciences

Les enjeux sont de taille en santé

Les neurosciences s'attaquent à quelques-uns des problèmes qui affectent le plus gravement les sociétés contemporaines partout dans le monde. L'impact socioéconomique des pathologies du cerveau et du système nerveux est tout particulièrement inquiétant dans les pays industrialisés qui doivent composer avec des populations vieillissantes. Rappelons que les problèmes entraînés par le vieillissement de la population seront sans doute particulièrement aigus au Québec au cours des prochaines décennies, puisque le phénomène s'y produira plus tôt que dans le reste de l'Amérique du Nord.

---

[10] On retrouve notamment des applications de l'intelligence artificielle dans les appareils médicaux. Les recherches portant sur l'intelligence artificielle s'intéressent à l'organisation ou au fonctionnement du cerveau afin de reproduire les performances de l'intelligence humaine. De plus, l'ordinateur « est une métaphore puissante pour les neurosciences cognitives et les simulations informatiques offrent un outil de grande utilité pour tester les théories de la cognition ». De ce fait, l'intelligence artificielle contribue autant aux recherches menées en neurosciences qu'elle en bénéficie. « Les processus cognitifs ainsi simulés sont ordinairement qualifiés d'*intelligence artificielle* – ils sont artificiels au sens où il s'agit de produits, de créations de l'activité humaine, et intelligents du fait de la complexité des fonctions qu'exécute l'ordinateur. » Voir M.S. Gazzaniga et coll., *Neurosciences cognitives. La biologie de l'esprit*, Bruxelles, De Boeck Université, 2001, p. 99.

Le système nerveux[11]

1. L'organisation générale du système nerveux

L'organisation générale du système nerveux peut être envisagée d'un point de vue anatomique ou fonctionnel.

D'un point de vue anatomique, le système nerveux comprend le système nerveux central et le système nerveux périphérique. **Le système nerveux central** (névraxe) est constitué de l'encéphale et de la moelle épinière. L'encéphale est situé à l'intérieur du crâne et comprend le cerveau, le tronc cérébral et le cervelet. La moelle épinière est située à l'intérieur de la colonne vertébrale, qui est constituée par l'empilement des vertèbres. **Le système nerveux périphérique** est constitué des nerfs qui se détachent du système nerveux central pour rejoindre l'ensemble des organes (peau, yeux, oreilles, cœur, foie, poumon, etc.) et des différentes parties du corps (jambes, pieds, mains, etc.).

D'un point de vue fonctionnel, le système nerveux remplit des fonctions motrices et sensitives (système nerveux somatique) et des fonctions de régulation liées à des activités automatiques de l'organisme (système nerveux végétatif ou autonome). **Le système nerveux somatique** est responsable du maintien des attitudes, des mouvements volontaires et involontaires, mais également des sensations tactiles douloureuses et thermiques après réception des messages par l'intermédiaire des récepteurs situés dans la peau. **Le système nerveux autonome** permet de réguler différentes fonctions automatiques de l'organisme (digestion, respiration, circulation artérielle et veineuse, pression artérielle, sécrétion et excrétion).

2. Les cellules qui composent le système nerveux

Le système nerveux est composé de deux grands types de cellules : les **neurones** et les **cellules gliales**.

Le **neurone** est l'unité fonctionnelle du système nerveux. La communication entre les neurones se fait au niveau de la synapse (point de rencontre entre les neurones). L'information (un ordre ou une sensation) est transmise grâce à la libération locale de neurotransmetteurs, des substances chimiques comme l'adrénaline, l'acétylcholine ou la dopamine.

Les **cellules gliales** sont dix fois plus nombreuses que les neurones. Des études récentes tendent à prouver le rôle actif de ces cellules dans le traitement de l'information[12]. De fait, il appert que les cellules gliales agissent en synergie étroite avec les neurones, leur assurant protection, isolation et nutrition.

---

[11] D'après *Vulgaris-Médical* [En ligne] http://www.vulgaris-medical.net/texts/systnerv.htm; Bertrand Boutillier et Pr. Gérard Outrequin, « Anatomie » [En ligne] http://www.anatomie-humaine.com/neuroa/gene.html; NeuroScience Canada, *Accueil* [En ligne] http://www.neurosciencecanada.ca/fra/topFR.html.

[12] Caroline Tourbe, « Astrocytes. La face cachée du cerveau », *Science & Vie*, octobre 2004, p. 67-71.

25 % du fardeau attribuable aux maladies dans le monde

Selon des estimations publiées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et la Banque mondiale, et datant du milieu des années 1990, les traumatismes nerveux, les maladies neurologiques dégénératives, les troubles psychiatriques et mentaux ainsi que les dysfonctions cognitives représenteraient pas moins de 25 % du fardeau économique attribuable aux maladies[13]. Chaque année, dans le monde, un million de personnes mettent fin à leurs jours et entre dix et vingt millions font une tentative de suicide. On compte 70 millions d'alcoolodépendants et 24 millions de schizophrènes. La santé mentale et la toxicomanie ont un impact social et économique majeur[14]. Par exemple, chaque année aux États-Unis, 97 millions de personnes souffrent de douleur chronique, de maux de tête, de maux de dos ou de douleur arthritique, ce qui représente des coûts évalués à environ 100 milliards de dollars[15].

Au Canada, quatre millions de personnes touchées

Au Canada, on a recensé plus de mille maladies et troubles du cerveau et du système nerveux qui affectent directement quatre millions d'adultes et d'enfants et constituent la principale cause d'invalidité. Du reste, 50 % de tous les Canadiens ont déjà eu à composer avec un trouble relié aux neurosciences dans leur famille (voir l'encadré : Les troubles neurologiques, psychiatriques ou de dépendance). Selon une évaluation de Santé Canada, le fardeau économique lié aux troubles neurologiques et psychiatriques serait de l'ordre de 23 milliards de dollars par année, c'est-à-dire environ 2 % du PIB canadien. Ce chiffre ne tient même pas compte du grand nombre de personnes qui n'ont pas obtenu de diagnostic ou qui ne font pas appel au système de santé. Il ne tient pas compte non plus de la perte de productivité en milieu de travail. C'est pourquoi, selon la Fondation NeuroScience Canada, le fardeau de la maladie serait plutôt de l'ordre de 35 milliards de dollars, estimation à laquelle il faut ajouter qu'une augmentation draconienne des coûts est prévisible avec le vieillissement de la population[16]. C'est donc dire à quel point une meilleure compréhension des problèmes en question, de leur origine, des diagnostics et des traitements les plus efficaces et, peut-être surtout, des outils de prévention susceptibles d'être déployés peut avoir des répercussions majeures sur le niveau de santé général et le bien-être d'une population.

D'autres chiffres éloquents

D'autres données, même si elles ne sont pas établies sur les mêmes bases, sont tout aussi éloquentes. Ainsi, on observe au tableau 1-1 que, selon l'Institut des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies (INSMT), les maladies neurologiques qui engendrent les coûts les plus élevés sont les lésions cérébrales traumatiques (en bonne partie en raison de la permanence des séquelles), les troubles de l'humeur, dont principalement la dépression, de même que la douleur chronique et les troubles du sommeil. Ces maladies à elles seules occasionneraient des coûts estimés entre 47 et 52 milliards de dollars par an au Canada.

---

[13] Dr Leanna Read, *Brain and Mind Disorders : Impact of the Neurosciences*, PMSEIC, Australie, Commonwealth Government, 2003.

[14] Organisation mondiale de la santé, *Rapport sur la santé dans le monde 2001. La santé mentale : Nouvelle conception, nouveaux espoirs*, octobre 2001.

[15] The Society for Neuroscience, *Brain Facts. A Primer on the Brain and Nervous Systems*, Washington, DC, The Society for Neuroscience, 2002, p. 30.

[16] NeuroScience Canada, *Accueil* [En ligne] http://www.neurosciencecanada.ca/fra/topFR.html (page consultée le 10 février 2004).

Les troubles neurologiques, psychiatriques ou de dépendance

Troubles neurologiques – Perturbation affectant la structure ou le fonctionnement du système nerveux central résultant d'une anomalie du développement, d'une maladie, d'une blessure ou de l'effet d'une toxine : maladie d'Alzheimer, tumeurs du cerveau, traumatismes au cerveau et à la moelle épinière, douleurs chroniques, épilepsie, sclérose en plaques, dystrophie musculaire, maladie de Parkinson, accident vasculaire cérébral…

Troubles psychiatriques (maladies mentales) – Altération de la pensée, de l'humeur et du comportement associée à une détresse importante ou à un dérèglement du fonctionnement : troubles affectifs, anxiété, autisme, dépression, schizophrénie, autres formes de maladie mentale…

Troubles de dépendance – Toxicomanie et consommation abusive d'alcools ou d'autres drogues…

Source : NeuroScience Canada et Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC) Institut des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies (INSMT)

Tableau 1-1
Incidence et coûts reliés aux maladies du système nerveux au Canada

Maladies	Incidence	Coûts totaux ($)
Alzheimer et démences connexes	109 000 cas	5,5 milliards
Sclérose latérale amyotrophique (SLA)	3 000 cas	N. D.
Tumeurs cérébrales	10 000 nouveaux cas/an	N. D.
Paralysie cérébrale	66 000 cas	N. D.
Épilepsie	300 000 cas	1,25 milliard
Maladie de Huntington	10 000 cas	N. D.
Migraine	5 440 000 cas	1,3 milliard
Troubles de l'humeur (dépression)	1 600 000 cas	14,4 milliards (2001)
Lésions cérébrales traumatiques	37 000 nouveaux cas/an	16 milliards
Sclérose en plaques	35 000 à 50 000 cas	1 milliard
Spina-bifida et hydrocéphalie	1 naissance sur 750	N. D.
Douleur chronique	5 760 000 cas	10 milliards
Maladie de Parkinson	100 000 cas	2,5 milliards
Schizophrénie	300 000 cas	4 milliards
Troubles du sommeil	6 à 7 millions de cas	6,6 à 11,6 milliards

Source : Chiffres les plus récents disponibles, tirés du *Plan stratégique 2001-2005* de l'Institut des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies, 2001.

Au Québec

Les neurosciences contribuent à mieux faire comprendre et, éventuellement, à prévenir beaucoup d'autres problèmes psychologiques et sociaux avec lesquels la société québécoise est aux prises. Le taux de suicide, par exemple, semble être en progression, alors qu'il est en général en diminution dans les pays industrialisés[17]. Les problèmes de toxicomanie et de jeu pathologique touchent non seulement la population adulte, mais même les élèves du secondaire[18].

Importance de l'industrie pharmaceutique

L'importance socioéconomique des neurosciences est également liée au développement des médicaments. Le marché mondial des médicaments était d'environ 299 milliards de dollars en 2003. Le système nerveux central, avec 18 % de ce marché, est le deuxième secteur thérapeutique en importance de l'industrie pharmaceutique, juste après le système cardiovasculaire (19 %)[19]. Aux États-Unis, plus d'une trentaine de compagnies se concentrent sur la découverte et le développement de traitements contre la maladie d'Alzheimer[20]. De plus, l'industrie pharmaceutique s'intéresse grandement aux troubles de l'humeur[21]. La recherche a enregistré des avancées phénoménales ces dernières années en ce qui concerne la compréhension des processus et des mécanismes menant à l'apparition de certaines affections neurologiques. Il existe maintenant plusieurs traitements médicamenteux pour l'épilepsie, la maladie d'Alzheimer, la maladie de Parkinson et les accidents vasculaires cérébraux. On n'a cependant pas encore trouvé de remède pour guérir ces affections[22].

Questions éthiques

Enfin, les neurosciences ne s'intéressent pas seulement aux pathologies; elles cherchent aussi à mieux comprendre le fonctionnement normal du cerveau et du système nerveux en général. Elles soulèvent ainsi bon nombre de questions d'ordre éthique en raison de leurs objets de recherche eux-mêmes ainsi que de l'étendue de leurs répercussions sur la société. À titre d'exemple, citons le contrôle du comportement que permettent certains produits pharmaceutiques mis au point grâce à la recherche en neurosciences, sans parler de certaines percées éventuelles du côté de l'implantation de biopuces dans le cerveau.

---

17 « Contrairement à ce qui est souvent véhiculé par les médias et la croyance populaire, en nombre absolu, le problème du suicide est majoritairement le fait des hommes d'âge moyen [...]. Si les suicides représentent la principale cause de décès chez les jeunes, c'est cependant chez les 30-49 ans que surviennent la moitié des suicides. À l'inverse, le poids du suicide chez les aînés représente seulement 9,8 % des décès par suicide et, en nombre absolu, les suicides sont peu nombreux en comparaison avec les autres causes de décès. Par contre, les taux de mortalité par suicide des hommes de 65 ans et plus sont comparables à ceux observés chez les jeunes hommes de 15-19 ans. » Voir Danielle St-Laurent et Clermont Bouchard, *L'épidémiologie du suicide au Québec : Que savons-nous de la situation récente?*, Institut national de santé publique du Québec, Direction planification, recherche et innovation, Unité connaissance-surveillance, mai 2004, p. 9.

18 Institut de la statistique du Québec (Santé et bien-être), *Où en sont les jeunes face au tabac, à l'alcool, aux drogues et au jeu? L'Enquête québécoise sur le tabagisme chez les élèves du secondaire (2002)*, 3e éd., Les Publications du Québec, 2003.

19 Jean-Marc Grognet, « L'innovation pharmaceutique marque-t-elle le pas? », *Biofutur*, n° 239, décembre 2003, p. 20-22.

20 Les sociétés pharmaceutiques les plus actives dans ce domaine seraient Pfizer, Eli Lilly, Elan Pharmaceuticals, SmithKline Beecham et Merck. Voir « Merck acquires Sibia for $87 million », *Chemical Market Reporter*, vol. 256, n° 6, 1999.

21 Par exemple, les ventes combinées de médicaments pour la dépression (Prozac de Eli Lilly, Zoloft de Pfizer et Paxil de SmithKline Beecham) totalisent 7 milliards de dollars américains en 1998. Voir aussi « Merck acquires Sibia for $87 million », *Chemical Market Reporter*, vol. 256, n° 6, 1999.

22 Joan O'C. Hamilton, « To a mind disease : Biotechnology's struggle to heal neurological ills », *Signals Magazine*, 1998. [http://www.recap.com]

Des notions ou des valeurs comme celles de liberté de choix, d'équité sociale, d'égalité, d'intégrité de la personne et de justice sont alors mises en cause et demandent un effort d'éclaircissement légal et éthique en même temps qu'un exercice d'arbitrage.

1.3 Perspectives sur la recherche en neurosciences

D'une façon générale, on peut dire que les neurosciences ont beaucoup progressé sur le plan scientifique au cours des cinquante dernières années. Elles constituent aujourd'hui un des grands domaines de recherche de pointe. Toutes les semaines, les prestigieuses revues *Nature* et *Science*, par exemple, font état de façon éloquente du bouillonnement d'activités que connaît le domaine. Des questions comme la régénérescence des neurones à la suite d'une lésion de la moelle épinière, la configuration et la reconfiguration des réseaux neuronaux et la cartographie fonctionnelle du cerveau ne cessent de susciter la mise sur pied de nouveaux projets de recherche.

En dépit de percées significatives, la recherche en neurosciences s'attaque à des problèmes si complexes qu'il faut y investir beaucoup plus de temps et de ressources que ce que l'on pourrait souhaiter. Ainsi, en 1992, une trentaine de scientifiques ont tenté de définir « dix objectifs que l'on pouvait raisonnablement espérer atteindre avant l'an 2000[23] », une façon d'asseoir sur des visées concrètes la décennie du cerveau que le Congrès américain avait proclamée au début des années 1990. Dans la mise à jour qui en a été effectuée en 2000, The European Dana Alliance for the Brain[24] (EDAB) dressait un bilan mitigé de cette décennie consacrée aux recherches en neurosciences. Selon Joseph B. Martin, doyen de la Faculté de médecine de l'Université Harvard, la décennie a été marquée par des réussites majeures, mais il restait encore beaucoup à faire, comme l'indiquent les notes d'évaluation accordées à l'atteinte de chacun des objectifs. Le tableau 1-2 montre que les recherches qui auraient le plus progressé concernent l'identification de gènes défectueux concernant la maladie d'Alzheimer et la chorée de Huntington, de même que celle des gènes responsables des formes héréditaires de surdité et de cécité. À l'opposé, celles qui obtiennent la note la plus basse portent sur la régénération du tissu nerveux après un traumatisme. Cette évaluation fait en sorte qu'au début des années 2000 la Dana Alliance for Brain Initiative et la EDAB se sont fixé de nouveaux objectifs, qui sont résumés au tableau 1-3. On y constate que, même si les libellés sont plus généraux, les objectifs pour les années 2000 offrent de nombreuses similitudes avec ceux de la décennie antérieure.

Après 10 ans de recherches intensives, beaucoup reste à faire

---

[23] Joseph B. Martin, « Un B+ de moyenne générale pour la décennie du cerveau », dans The European Dana Alliance for the Brain, *Les progrès récents de la recherche sur le cerveau. Mise à jour 2000*, p. 6.

[24] « La DABI [*Dana Alliance for Brain Initiative*], qui regroupe près de deux cents scientifiques, est une organisation à but non lucratif, qui s'est donné pour mission de communiquer au grand public les progrès récents dans le domaine de la recherche sur le cerveau et ses implications pour le diagnostic et le traitement des maladies neurologiques et psychiatriques. Les activités d'information se sont récemment étendues à l'Europe. C'est ainsi qu'en 1997 s'est constituée la European Dana Alliance for the Brain (EDAB), qui comprend une centaine de chercheurs européens et dont les objectifs sont identiques à ceux de la DABI aux États-Unis. Les activités de la DABI et de l'EDAB sont soutenues par la Charles A. Dana Foundation. » Voir The European Dana Alliance for the Brain, *Les neurosciences du nouveau millénaire. Les progrès récents de la recherche sur le cerveau. Mise à jour 2000*, p. 1.

Tableau 1-2
Un B+ de moyenne générale pour la décennie du cerveau (1992-2000)[25]

Objectifs	Notes
L'identification des gènes qui sont défectueux dans la forme familiale de la maladie d'Alzheimer et de la chorée de Huntington.	A+
L'identification des gènes responsables de la psychose maniaco-dépressive.	C+
Développer des médications et des stratégies thérapeutiques permettant de réduire la mort des neurones et favoriser la récupération après des accidents vasculaires cérébraux (AVC) et d'autres formes de lésion cérébrale.	B+
Développer des médicaments et des techniques capables d'atténuer les effets de la sclérose en plaques, de la maladie d'Alzheimer et d'atteintes des neurones moteurs telles que la sclérose latérale amyotrophique, la maladie de Parkinson et l'épilepsie.	A
Trouver de nouveaux traitements capables de favoriser la régénération du tissu nerveux après des traumatismes de la moelle épinière et des nerfs périphériques.	C
Développer des traitements nouveaux et plus efficaces contre la psychose maniaco-dépressive, les troubles anxieux et certaines formes de schizophrénie actuellement rebelles à tout traitement.	B
Découvrir, tester et rendre disponibles des agents capables de bloquer l'action de la cocaïne ainsi que d'autres substances génératrices d'addiction.	B
Développer de nouveaux traitements de la douleur associée au cancer, à l'arthrite, aux migraines et à d'autres maladies incapacitantes.	B+
Identifier les gènes responsables des formes héréditaires de surdité et de cécité.	A+
Élucidation des mécanismes neuronaux intervenant dans l'apprentissage et la mémoire.	A

Source : Reproduit de Joseph B. Martin, « Un B+ de moyenne générale pour la décennie du cerveau », dans The European Dana Alliance for the Brain, *Les neurosciences du nouveau millénaire. Les progrès récents de la recherche sur le cerveau. Mise à jour 2000*, p. 6-9.

[25] Selon l'évaluation effectuée par Joseph B. Martin, doyen de la Faculté de médecine de l'Université Harvard.

Tableau 1-3
Nouveaux objectifs poursuivis par la Dana Alliance for the Brain pour les années 2000

Objectifs
Combattre les effets de la maladie d'Alzheimer.
Découvrir le meilleur moyen de traiter la maladie de Parkinson.
Faire baisser la fréquence des accidents vasculaires et améliorer le traitement de l'épisode aigu.
Développer des traitements plus efficaces contre des troubles de l'humeur tels que la dépression, la schizophrénie, les troubles obsessionnels et les psychoses maniaco-dépressives.
Découvrir les causes génétiques et neurobiologiques de l'épilepsie et améliorer le traitement de cette maladie.
Trouver des moyens nouveaux de prévenir et de traiter la sclérose en plaques.
Développer des traitements plus efficaces pour les tumeurs du cerveau.
Améliorer la récupération après des atteintes traumatiques du cerveau ou de la moelle épinière.
Trouver de nouvelles solutions au problème de la douleur.
Combattre la toxicomanie à sa source : dans le cerveau.
Comprendre les mécanismes cérébraux qui sous-tendent la réponse au stress, à l'anxiété et à la dépression.

Source : Reproduit de The European Dana Alliance for the Brain, *Visions du cerveau. Mise à jour 2001*, p. 2 et 3.

Des questions d'actualité en 2004

Dans une mise à jour datée de 2004, Eric R. Kandel, Prix Nobel de médecine en 2000, dresse une liste de questions d'actualité en neurosciences du point de vue de la neurologie et de la psychiatrie[26], liste qui complète ou précise, en quelque sorte, les objectifs de la Dana Alliance énoncés en 2000. Il souligne que, parmi les questions les plus intéressantes en neurosciences, certaines concernent à la fois la neurologie et la psychiatrie :

- En quoi la réponse immunitaire contribue-t-elle aux maladies neurologiques?
- Les maladies dégénératives ont-elles des caractéristiques physiopathologiques communes?
- Est-il possible d'obtenir, après un traumatisme crânien ou une atteinte de la moelle épinière ou des nerfs périphériques, une régénération cellulaire cliniquement significative?

[26] Eric R. Kandel, « Introduction », dans The European Dana Alliance for the Brain, *Cerveau et Immunité. Un rapport sur les progrès récents de la recherche sur le cerveau. Mise à jour 2004*, mars 2004, p. 5.

- Quels sont exactement les systèmes du cerveau qui agissent sur les fonctions cognitives supérieures?

- Qu'est-ce qui les désorganise dans l'autisme, dans la schizophrénie, la dépression?

- Quels sont les gènes qui contribuent à ces maladies?

- Quels sont, en particulier, les facteurs biologiques sous-tendant les troubles mentaux multigéniques complexes et quel effet les circonstances environnementales ont-elles sur ces facteurs?

Les stratégies proposées par la Society for Neuroscience

Du côté thérapeutique, de nouvelles stratégies font l'objet de travaux qui suscitent un grand intérêt. Selon la Society for Neuroscience, les plus intéressantes seraient[27] :

- l'utilisation de la nanotechnologie pour le transport de molécules médicamenteuses ou encore pour l'insertion de gènes de remplacement dans le génome;

- la thérapie cellulaire qui consiste à la transplantation de cellules souches;

- l'emploi des facteurs neurotrophiques[28] afin de stimuler la croissance des cellules nerveuses.

De nombreux défis et promesses

En dépit ou à cause des nombreux défis que doivent relever les chercheurs en neurosciences, il semble assuré que la société de demain portera la marque de leurs réalisations, en raison notamment des besoins qui découleront du vieillissement et du prolongement de l'espérance de vie des populations. Les neurosciences sont appelées à travailler en association étroite avec la nanotechnologie, la génomique et l'intelligence artificielle. On parle d'ailleurs de convergence pour traduire ce phénomène. Les réalisations en devenir sont nombreuses. Mentionnons à titre d'exemples :

- L'amélioration de l'interface homme-machine en bionique/neuroprosthétique pourrait redonner aux paraplégiques et aux quadriplégiques l'usage de leurs membres, aux aveugles ou aux sourds l'usage de la vue ou de la parole.

- L'intelligence artificielle pourrait offrir d'importantes améliorations à une vaste gamme de produits (téléphone cellulaire, ordinateur, téléviseur, radar, satellite, GPS, automobile, train, avion, etc.).

---

27 The Society for Neuroscience, *Brain Facts. A Primer on the Brain and Nervous System*, Washington, DC, 2002.

28 « Les facteurs neurotrophiques sont des facteurs de croissance actifs sur les neurones ou les cellules gliales dont ils règlent la croissance, la prolifération et la différenciation. » Voir Bruno Heyd et Patrick Aebischer, « Les facteurs neurotrophiques et leurs applications thérapeutiques potentielles », *Médecine/sciences*, nº 11, 1995, p. 299-302 [En ligne] http://ist.inserm.fr/BASIS/medsci/fqmb/medsci/DDD/4314.pdf (page consultée le 23 février 2005).

- Les neurosciences, en s'associant à la nanotechnologie et en profitant des travaux en génomique, donneraient naissance à des médicaments suffisamment efficaces pour soigner et guérir les maladies neurologiques.

- Les résultats des recherches en neurosciences viendraient aider le personnel soignant dans sa façon d'intervenir auprès des personnes atteintes de maladies neurologiques ou psychiatriques, de même que celles aux prises avec des problèmes de santé mentale, de toxicomanie ou de dépendance au jeu. On pourrait alors envisager des périodes plus courtes pour ces personnes en dehors du marché du travail.

- Les résultats des recherches en neurosciences sur les mécanismes d'apprentissage et sur la mémoire permettraient aux pédagogues de concevoir de nouveaux outils pour lutter contre différents problèmes de comportement des jeunes à l'école et d'accroître les capacités d'apprentissage et de mémorisation des matières enseignées. Cela aurait un impact direct sur la réussite scolaire et, de façon plus générale, favoriserait une intégration réussie dans la vie adulte.

Mais ces percées dépendent de l'effort effectif que les pays consentiront en recherche-développement au cours des prochaines années. Où le Québec se situe-t-il à ce chapitre?

2 Situation des neurosciences au Québec

La force du Québec en neurosciences s'appuie sur une longue tradition. En 1934, le docteur Wilder Penfield fondait l'Institut neurologique de Montréal (INM). Rattaché à l'Université McGill, l'INM est considéré comme le berceau des neurosciences au Canada, puisque pour la première fois se mettait en place un centre neurologique où les spécialistes de la recherche fondamentale et de la recherche clinique conjuguaient leurs efforts pour expliquer les fonctions et les maladies du système nerveux[29]. De leur côté, Jean-Pierre Cordeau, directeur du Département de physiologie de l'Université de Montréal, et Herbert H. Jasper, anciennement du INM, fondaient en 1967 le Groupe de recherche en sciences neurologiques. Il s'agissait du premier groupe financé par le Conseil de recherches médicales du Canada (CRM)[30]. Aujourd'hui, on retrouve des centres ou des équipes de recherche en neurosciences dans plusieurs universités québécoises.

Les neurosciences au Québec : une tradition qui se poursuit

Le présent chapitre a pour but de décrire la situation actuelle des neurosciences au Québec[31] et de montrer que, malgré sa force relative, ce « domaine de recherche de calibre mondial en santé[32] », n'en demeure pas moins vulnérable à certains égards. Ce portrait découle en grande partie de l'étude qu'a menée le Conseil et qui accompagne le présent avis. Il sera résumé ici sous la forme des dix points saillants qui suivent.

1. *Le Canada occupe une position internationale forte en neurosciences*

Bien que les défis qui se posent aux neurosciences soient universels, ce secteur de recherche scientifique en est un où le Canada se positionne déjà avantageusement à l'échelle mondiale, surtout grâce à l'Ontario et au Québec. En effet, malgré l'absence de données comparatives robustes, plusieurs indices tendent à montrer que le Canada est l'un des joueurs importants dans le monde en neurosciences. Par exemple, il a été l'un des fondateurs de l'International Brain Research Organization (IBRO), incorporée au Canada. Par ailleurs, les chercheurs canadiens sont bien représentés au sein de la Society for Neurosciences, qui s'est imposée comme la principale société de neurosciences au monde, et ils figurent en bonne place, compte tenu du poids démographique du Canada, pour ce qui est du financement obtenu de la fondation Human Frontier, qui attribue des fonds aux chercheurs de ses 29 pays membres.

Le Canada : un joueur important

---

29 Institut neurologique de Montréal, « Mot du directeur » [En ligne] http://www.mni.mcgill.ca/directf.html (page consultée le 21 février 2005).

30 Il fait partie à présent du Centre de recherches en sciences neurologiques (CRSN), qui a été fondé en 1975. Voir Université de Montréal, Département de physiologie, « Mot du directeur » [En ligne] http://www.physio.umontreal.ca/motdir.html (page consultée le 21 février 2005).

31 Conseil de la science et de la technologie, *Portrait statistique des neurosciences au Québec*, 2005.

32 « Annexe IV. Des secteurs de recherche à fort potentiel en santé, en sciences naturelles et en génie », dans Ministère de la Recherche, de la Science et de la Technologie, *Savoir changer le monde. Politique québécoise de la science et de l'innovation*, 2001, p. 163-164.

2. *À l'échelle canadienne, les chercheurs québécois se montrent très performants au regard du financement en provenance du fédéral, notamment des IRSC, et des fondations privées*

Le Québec occupe une position majeure au Canada

D'une façon générale, les chercheurs québécois jouissent d'une excellente performance dans le secteur de la santé en ce qui concerne le financement par les Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC), mais en neurosciences les résultats obtenus sont encore meilleurs. En effet, de 1999 à 2003, le Québec a récolté 33 % des 486 millions octroyés en neurosciences par les IRSC (ratio 1,5) comparativement à 30 % du 1,7 milliard donné en santé (ratio 1,4). Ce résultat peut être mis en perspective si l'on se rappelle que le Québec représente 23 % de la population canadienne et que sa part dans le PIB canadien est de seulement 21 %.

Du côté des fondations privées, la performance des chercheurs québécois est encore plus exceptionnelle. En effet, depuis l'an 2000, le Québec a reçu 46 % des 19 millions distribués par la Société canadienne de la sclérose en plaques, la Société canadienne de la sclérose latérale amyotrophique (SLA), la Société Parkinson Canada et la Société Alzheimer du Canada.

3. *Au total, le financement des neurosciences au Québec se chiffre à plus de 400 millions entre 1999 et 2003*

Un niveau de financement très important

Un calcul sommaire des sommes investies au Québec entre 1999 et 2003 nous permet de dire que le financement des neurosciences était de l'ordre de 400 millions pour la période. En effet, le Québec a reçu 158 millions des Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC), 5,8 millions du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), 1,5 million du Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH) et 45,5 millions de la Fondation canadienne pour l'innovation (FCI). De plus, 86 millions sont venus des fonds québécois, notamment du Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ), 19 millions de Valorisation-Recherche Québec (VRQ) et 15,6 millions de cinq importantes fondations privées. À ces montants il faut ajouter une contribution de 44 millions du secteur privé (de 1995 à 2000) et de 30 millions de sources étrangères. Le total de 400 millions est sans doute inférieur à la réalité, car pour des raisons méthodologiques, les sommes octroyées par le CRSNG[33] ont été sous-estimées.

[33] Cela s'explique par les limites de la recherche par mots-clés dans la banque de données en ligne des conseils fédéraux. Ainsi, seules la neurologie du comportement et la neurophysiologie sont prises en compte au CRSNG et seule la santé mentale est retenue par le CRSH.

4. *La force du Québec réside avant tout à l'Université McGill, à l'Université de Montréal et à l'Université Laval*

Trois universités font la force du Québec

Une dizaine de centres de recherche sont spécialisés en neurosciences au Québec et ils regroupent principalement des chercheurs des Universités McGill, de Montréal et Laval ainsi que de leurs établissements affiliés.

De 1999 à 2003, **l'Université McGill** a reçu 86 millions de dollars des IRSC (55 % des 158 millions octroyés en neurosciences au Québec), 24 millions de la FCI (54 % des 45,5 millions), 2,3 millions du CRSNG en neurologie du comportement (52 % des 4,4 millions) et 8,5 millions du FRSQ (34 % des 25 millions). Elle reçoit aussi une part importante des montants versés par le CRSH en santé mentale, soit 25 % du 1,5 million de dollars octroyés aux chercheurs québécois.

L'Université de Montréal est elle aussi très active en neurosciences, puisqu'elle obtient pour la même période 28 % des 158 millions versés par les IRSC aux chercheurs québécois et 42,2 % des 25 millions octroyés en neurosciences par le FRSQ. Elle obtient du CRSNG 34,3 % du 1,4 million de dollars versés au Québec en neurophysiologie et 33 % des 4,7 millions octroyés pour la recherche en intelligence artificielle.

L'Université Laval reçoit pour sa part 12 % des 25 millions accordés par le FRSQ en neurosciences et 18 millions des IRSC. Elle fait aussi sentir sa présence en intelligence artificielle, où elle obtient 15 % des 4,7 millions octroyés par le CRSNG. Elle reçoit enfin une part importante des montants octroyés par le CRSH pour la santé mentale.

D'autres universités, comme celles de Sherbrooke, de Trois-Rivières ou encore l'Université du Québec à Montréal (UQAM) (en sciences sociales et humaines), sont également actives, mais de manière moins significative.

5. *La formation par le FRSQ d'un réseau consacré aux neurosciences a assurément contribué à l'effort de recherche en neurosciences au Québec*

Importance des réseaux du FRSQ

Si les chercheurs se retrouvent presque tous au sein de centres de recherche dûment constitués, les réseaux ont un effet structurant supplémentaire : six des réseaux mis sur pied par le Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ) poursuivent des recherches en neurosciences, l'un d'entre eux étant spécifiquement destiné à cette discipline, à savoir le Réseau en santé mentale et en neurosciences du Québec (RSMNQ).

6. *L'ensemble du champ des neurosciences semble couvert par les chercheurs québécois, lesquels se font valoir dans certains secteurs de pointe*

Une recherche québécoise couvrant l'ensemble des neurosciences

Le Québec couvre l'ensemble du spectre des spécialités en neurosciences. Les chercheurs québécois s'intéressent au fonctionnement normal du système nerveux (fonctions cognitives, mémoires, etc.) ainsi qu'aux différentes pathologies ou lésions susceptibles de l'affecter, notamment la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson, qui sont souvent liées au vieillissement. De plus, le Québec est présent dans plusieurs champs en lien avec les neurosciences, notamment les sciences cognitives, l'intelligence artificielle et la neurotechnologie (neuroprosthétique et autres).

Le Québec continue de développer les neurosciences dans des domaines de pointe comme la neuro-imagerie à l'Institut neurologique de Montréal et s'intéresse à des domaines en émergence comme la neurophotonique à l'Université Laval, qui regroupe des expertises complémentaires en neurosciences, en photonique et en science des matériaux (nanosciences et nanotechnologies).

7. *Le nombre d'entreprises en neurosciences au Québec ne reflète pas l'ampleur des sommes investies en recherche*

Le Québec compte seulement 39 entreprises liées aux neurosciences, 28 dans la filière du médicament et 11 dans le secteur du matériel médical.

Une certaine sous-exploitation industrielle des connaissances en neurosciences

Dix des trente-neuf entreprises au Québec sont issues du milieu universitaire. L'Université McGill a participé à la création de sept d'entre elles, tandis que l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université de Sherbrooke en comptent chacune une. Ces entreprises dérivées des universités québécoises appartiennent en majorité (neuf sur dix) à la filière du médicament.

Bien qu'il soit impossible, du moins pour l'instant, de quantifier l'écart qui existe entre la présence industrielle et l'envergure de la recherche (universitaire) actuelle en neurosciences, les personnes consultées dans le cadre de cet avis ont régulièrement déploré la sous-exploitation du bassin de connaissances à des fins économiques. Bien des facteurs expliquent cet état de fait. Mais celui-ci n'est pas irréductible pour autant.

8. *Il est impossible d'évaluer si le nombre de chercheurs en neurosciences est suffisant et si le nombre de diplômés au doctorat suffira à combler les besoins*

Une évaluation incertaine du nombre de chercheurs et de diplômés

Deux cent soixante-six (266) chercheurs inscrits au Répertoire de la recherche publique du Québec ont mentionné que les neurosciences figuraient parmi leurs domaines de recherche. Comme l'inscription se fait sur une base

volontaire, il est impossible de connaître le nombre total de chercheurs en neurosciences. Si l'on additionne le nombre de spécialistes des neurosciences des universités répertoriés dans les sites de McGill (89), Montréal (125), Laval (87) et du Québec à Montréal (20), on même arrive à 321 spécialistes. On peut donc conclure qu'il y a entre 325 et 375 chercheurs en milieu universitaire et hospitalier au Québec[34]. Nous n'avons aucune donnée sur l'âge moyen des chercheurs en neurosciences, ni aucune autre indication des besoins en matière de relève. Quant aux chercheurs évoluant dans le secteur privé, leur nombre est actuellement inconnu.

Malgré la variation importante dans chacune des universités, globalement le Québec a vu le nombre des diplômés doubler entre 1993 et 2002. Cette hausse va ainsi au-delà de la tendance observée aux États-Unis où le nombre de doctorats en neurosciences a augmenté de 78 % durant la même période. De plus, pondéré pour tenir compte des bassins démographiques différents, ce nombre dépasse largement celui qui est déclaré par les États-Unis. Toutefois, étant donné que les besoins en relève dans les universités, mais aussi dans les entreprises et chez d'autres employeurs potentiels, ne sont pas connus, il est impossible de dire si le nombre de diplômés est suffisant.

9. *L'impact des publications québécoises en neurosciences ne reflète pas la force du secteur au Québec*

Au total 2 352 publications ont été produites au Québec dans le domaine des neurosciences entre 1996 et 2000, ce qui correspond à 37,4 % de la production canadienne. La part relative des publications du Québec en neurosciences au Canada est plus grande que celle de la recherche biomédicale et la médecine clinique (27,8 %). Cette performance relative est conforme voire supérieure à celle obtenue en matière de financement. Toutefois, l'impact des publications tel qu'il est mesuré par le « facteur d'impact relatif moyen » (FIRM) n'équivaut qu'à la moyenne mondiale (1,0), même s'il se situe légèrement au-dessus de la moyenne canadienne (0,96). En comparaison, le FIRM du Québec dans la recherche biomédicale et la médecine clinique est plus élevé (1,07). Étant donné l'importance du secteur au Québec, on s'attendrait à un FIRM supérieur à celui observé.

L'impact des publications québécoises pourrait être meilleur

Bien que plus de 34 % des publications du Québec en neurosciences aient été réalisées en collaboration internationale entre 1996 et 2000 et que ce taux soit légèrement supérieur à celui de l'ensemble canadien (32 %) et de l'Ontario (30 %), la croissance de la collaboration internationale du Québec en neurosciences est significativement en deçà des taux de croissance ontarien et canadien au cours de la période 1996-2000. Cette croissance s'établit à 23 % entre 1996 et 2000 pour le Québec, alors qu'elle est de 57 % en Ontario et de 37,6 % au Canada. Sur ce point précis, le Québec perd donc du terrain.

[34] Il faudrait ajouter aux 321 chercheurs dûment répertoriés en neurosciences des universités ci-haut mentionnées, ceux des autres universités québécoises de même que ceux (peu nombreux) évoluant en milieu hospitalier sans être rattachés à une universités.

10. Une inconnue : la valorisation sociale de la recherche

Une valorisation sociale suffisante?

Malgré son importance, la valorisation de la recherche universitaire au bénéfice des milieux de pratique, d'autres groupes de la société civile et de la population en général demeure un sujet encore inexploré par la littérature. Il est donc difficile d'évaluer la situation exacte du Québec sur cet aspect.

Conclusion

En conclusion, les neurosciences constituent l'un des domaines vedettes de la recherche au Québec. Son haut niveau de financement relatif reflète sans aucun doute la grande qualité scientifique des travaux des chercheurs. Toutefois, en dépit d'atouts certains, le domaine se caractérise également par une certaine vulnérabilité. La force du Québec en neurosciences tient principalement à la performance de ses chercheurs. Or, le bassin des chercheurs lui-même paraît relativement petit par rapport à celui de l'Ontario. Il en est de même de celui des chercheurs canadiens à l'échelle internationale. La question de la relève prend une importance particulièrement stratégique dans un tel contexte. Par ailleurs, le développement d'un secteur industriel fort, capable de transformer les résultats de la recherche en produits commercialisables et exportables sur les marchés internationaux devient un enjeu majeur, considérant la petitesse du marché québécois et l'importance de l'investissement public en neurosciences. Le même constat s'applique aux retombées sociales de la recherche en terre québécoise.

3 Trois chantiers pour favoriser le développement des neurosciences au Québec

Le domaine des neurosciences possède le potentiel nécessaire pour faire du Québec l'un des chefs de file mondiaux sur le plan scientifique, tout en rayonnant de façon plus déterminante encore dans l'industrie, dans les milieux de pratique ainsi que dans la société en général. La réalisation de ce potentiel ne se produira cependant qu'à certaines conditions, lesquelles reposent sur la volonté des acteurs eux-mêmes du milieu des neurosciences au Québec et sur l'appui qu'ils recevront. Le Conseil croit que l'avenir du domaine dépend en bonne partie de l'utilisation stratégique qui sera faite de ses atouts, grâce à un effort concerté du milieu des neurosciences et d'acteurs essentiels comme le Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).

L'objectif de ce troisième chapitre de l'avis est de formuler des recommandations qui devront guider les acteurs concernés pour assurer un développement intégré du domaine. Ces recommandations correspondent à une stratégie globale qui vise autant les aspects scientifiques que les aspects industriels et socioculturels. Elles préconisent la formation d'une relève compétente et abondante, le maintien et le développement d'une base solide de recherche fondamentale et clinique, la valorisation commerciale des résultats de la recherche et l'essor d'un secteur industriel des neurosciences, ainsi que la valorisation sociale de la recherche dans les milieux de pratique et la société en général. Ces recommandations sont complémentaires et elles doivent être vues comme les composantes indissociables d'une stratégie globale efficace.

Trois recommandations

Le Conseil adresse donc au Fonds de la recherche en santé du Québec et au ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation, ainsi qu'au milieu des neurosciences, trois recommandations qu'il juge primordiales pour le développement scientifique, social et économique du Québec. Nous les résumons ici.

1. Concevoir et mettre en œuvre une stratégie de développement scientifique des neurosciences

Une stratégie de développement scientifique réellement pertinente doit prendre en considération les éléments suivants : la programmation de recherche, le volume et la compétence des ressources humaines, le réseautage international, le financement et la veille scientifique. De plus, le Conseil insiste sur la nécessité d'élargir les perspectives de recherche en neurosciences afin de créer des ponts avec (ou même d'inclure) la recherche qui se fait sur les incidences sociales, économiques et familiales des atteintes neurologiques, de la santé mentale, des différents problèmes de toxicomanie et de dépendance, de la délinquance, etc.

2. ***Développer une industrie des neurosciences couvrant la filière du médicament, le secteur du matériel médical et le secteur des services***

Le développement de l'industrie ne concerne pas seulement la création ou la consolidation d'entreprises existantes, mais aussi la valorisation commerciale de la recherche universitaire qui se fait par la recherche partenariale, la recherche contractuelle, les activités de consultation, la commercialisation de la propriété intellectuelle et le transfert technologique. Comme pour les autres secteurs de haute technologie, l'industrie des neurosciences ne peut croître que grâce à de solides liens avec le milieu universitaire.

3. ***Encourager le transfert des connaissances vers la société et les milieux de pratique***

La valorisation de la recherche ne se limite pas à sa commercialisation. Les neurosciences s'intéressent également à la valorisation sociale de la recherche, laquelle « correspond au développement et à la diffusion, à partir de travaux de recherche, de solutions ou d'applications pratiques destinées à améliorer une situation ou à résoudre un problème social (au sens large)[35] ». Tout d'abord, la valorisation sociale doit se faire par l'information de la population en général. Ensuite, elle doit toucher les intervenants des milieux de pratique. Enfin, il importe de valoriser la voie de retour, de telle sorte que les chercheurs tiennent compte des besoins de la population et de ceux des milieux de pratique.

Nous reprenons maintenant plus en détail chacune de ces recommandations.

3.1 Concevoir et mettre en œuvre une stratégie de développement scientifique des neurosciences

Un niveau d'excellence

Prétendre au statut de créneau d'excellence au niveau international crée un certain nombre d'obligations aux différentes parties en cause. Les membres du secteur doivent se donner une vision claire des cibles à atteindre et des conditions nécessaires pour y parvenir. C'est d'ailleurs une conclusion semblable que les États-Unis retiennent pour les prochaines années. En effet, ils s'apprêtent à mettre sur pied un ambitieux projet de collaboration entre les quatorze instituts et centres membres des National Institutes of Health (NIH) qui font et financent des recherches en neurosciences[36].

---

[35] Conseil de la science et de la technologie, *La valorisation de la recherché universitaire. Clarification conceptuelle*, document de travail, 8 décembre 2004 (document non publié).

[36] NIH Blueprint for Neuroscience Research, *The NIH Neuroscience Blueprint : Building Collaboration and a Toolkit for the Future*, 2005 [En ligne] http://neuroscienceblueprint.nih.gov/neuroscience_blueprint.pdf (page consultée le 22 février 2005).

Le Québec doit cibler un certain nombre de niches spécifiques où il serait en mesure d'offrir une performance exceptionnelle sur le plan international. Les objectifs à atteindre et les indicateurs qui y sont rattachés doivent être assez ambitieux pour respecter les conditions normalement rattachées à un leadership international reconnu et durable; ils doivent également inclure les retombées locales éventuelles (industrielles, économiques, sanitaires, sociales...) qui justifient l'engagement attendu des autres partenaires, en particulier du gouvernement.

Cibler des niches spécifiques

Ce positionnement est d'autant plus judicieux que les neurosciences sont appelées à jouer un rôle encore plus important dans le futur, au Québec et à l'échelle mondiale, à cause du vieillissement de la population, du désir d'accroître l'espérance de vie en santé physique et mentale, des moyens dorénavant à notre disposition pour qu'il en soit ainsi grâce à la recherche et à l'innovation[37]. Le Québec est en bonne position pour relever ce défi. Encore faut-il qu'il maintienne et développe son potentiel. Cet objectif devrait être poursuivi dans un esprit de collaboration et de synergie avec le gouvernement fédéral.

Le secteur des neurosciences est donc à un point tournant. Pour faire face aux défis à venir, il doit se donner un plan d'ensemble dont les buts sont :

Les neurosciences à un point tournant

- de maintenir et de mieux asseoir la force des neurosciences au Québec;
- d'optimiser les ressources qui sont consacrées aux neurosciences;
- de faire en sorte que les acteurs du milieu des neurosciences s'entendent sur des stratégies et des objectifs communs.

Le Conseil recommande donc :

Recommandation 1

Que le Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ) élabore une stratégie de développement scientifique du secteur des neurosciences avec les principaux acteurs concernés, dont le Fonds québécois de la recherche sur la nature et les technologies (FQRNT) et le Fonds québécois de la recherche sur la société et la culture (FQRSC).

Cette stratégie devrait comporter des objectifs et des moyens d'action portant sur la programmation scientifique, la relève, la formation, le réseautage international, le financement et la veille sur le secteur des neurosciences.

---

37 Cette assertion a été confirmée par cent personnalités québécoises lors d'un atelier de prospective organisé par le Conseil de la science et de la technologie les 28 et 29 octobre dernier, dans le cadre de son projet *Perspectives STS*. Parmi les quarante défis socioéconomiques proposés pour les vingt prochaines années, six énoncés concernaient la santé et les habitudes de vie, dont un qui visait particulièrement les citoyens présentant un niveau de détresse élevé et un autre qui réclamait une perspective intégrant santé physique et santé mentale.

Chacun des éléments constitutifs de la stratégie proposée mérite d'être détaillé.

La programmation scientifique

La programmation devrait embrasser une période d'environ cinq ans et permettre de développer les synergies et les complémentarités scientifiques en place au Québec, de promouvoir les neurosciences comme un secteur de recherche distinct et bien intégré, en plus d'augmenter la notoriété du Québec en neurosciences.

Cette programmation scientifique devrait miser sur les centres d'excellence du Québec en neurosciences. Prenant appui sur les principaux champs déjà couverts, elle devrait adopter une vision prospective de ce qui se dessine à l'échelle internationale[38] et tenir compte de la concurrence exercée par les groupes phares au Canada et à l'étranger. De plus, la programmation doit continuer de créer des liens avec les recherches en génomique et en protéomique, en nanotechnologie, en neurotechnologie, notamment au regard de la neuroprosthétique et de l'intelligence artificielle, etc.

Quelques grands principes à considérer

À cet effet, la programmation doit influencer celle des réseaux du Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ) déjà en place, particulièrement le Réseau en santé mentale et en neurosciences du Québec (RSMNQ). Elle doit être établie en collaboration avec les autres fonds subventionnaires, le FQRNT et FQRSC, parce qu'elle doit tenir compte des forces du Québec en neurosciences, du potentiel de retombées industrielles ainsi que des besoins sociaux. Elle doit donc tenir compte de la demande sociale et viser à atteindre un équilibre entre (1) le curatif et le préventif, (2) le pathologique et le normal, (3) la recherche fondamentale et clinique, (4) la recherche appliquée et industrielle. Enfin, la programmation scientifique doit chercher à répondre aux questions sociales et éthiques que posent les neurosciences.

Un outil important : les réseaux

Dans l'élaboration de la programmation scientifique, les réseaux seront favorisés, puisqu'ils facilitent l'échange d'informations et constituent un moyen d'obtenir une masse critique malgré la faiblesse démographique relative du Québec. De plus, l'existence de réseaux permet d'accroître les synergies, de partager les infrastructures et d'encourager les chercheurs en début de carrière, grâce aux ressources disponibles et au milieu de vie et d'échange ainsi offert. Il importe donc de renforcer les réseaux déjà existants en s'assurant qu'ils présentent une programmation intégrée et complémentaire.

[38] Les neurosciences ont d'énormes besoins en neurogénomique, en bases de données (comme le montre l'intérêt de l'OCDE pour la neuroinformatique) et en recherche clinique. Voir National Institutes of Health, « Sponsor's Foreword. Limits to growth : why neuroscience needs large-scale science », *Nature Neuroscience*, vol. 7, n° 5, mai 2004, p. 426-427.

Le secteur des neurosciences est suffisamment fort au Québec pour que celui-ci se fixe de très hauts objectifs sur le plan de la notoriété internationale. C'est pourquoi il faudra viser un accroissement de l'impact des publications québécoises pour dépasser la moyenne mondiale. Outre les publications québécoises en neurosciences vues comme indicateur d'excellence de la programmation scientifique, la présence des chercheurs québécois dans les grandes rencontres et au sein de réseaux internationaux, l'attraction de chercheurs, stagiaires et étudiants étrangers, les prix obtenus à l'échelle nationale et internationale et le financement international pourraient servir d'indicateurs.

Un indicateur : l'impact des publications

La relève

Il est impossible de savoir si le nombre de diplômés suffit aux besoins des employeurs actuels. Il est donc nécessaire de connaître la voie empruntée par les diplômés en neurosciences. Une telle relance, combinée avec la prise de conscience des besoins suscités par le plan de développement et avec les prévisions des principaux employeurs privés et publics, devrait permettre de mieux connaître le nombre minimal de diplômés qui sera nécessaire pour assurer le développement scientifique et économique du domaine des neurosciences, avant même de tenir compte d'autres facteurs comme celui relatif à la mobilité internationale des diplômés.

Relancer les diplômés

La formation

Le plan stratégique devra porter sur la formation vue sous l'angle de la qualité et de la pertinence des programmes offerts aux trois cycles par les universités québécoises. Il sera intéressant ici de se pencher sur des programmes comme la neurotechnologie, l'intelligence artificielle et les neurosciences computationnelles. Y aurait-il lieu de mettre en place des programmes (ou des options) de cycles supérieurs dans ces spécialités?

Des programmes à revoir

Les programmes de formation devraient : 1) chercher à offrir des formations spécialisées multidisciplinaires et internationales; 2) encourager les étudiants en médecine à faire de la recherche[39]; 3) tenir compte des besoins de formation de ceux et celles qui se destinent à la recherche industrielle; 4) inclure des propositions destinées à la formation continue des chercheurs en exercice.

Le réseautage international

Il apparaît important d'encourager les collaborations avec l'ensemble des grands joueurs internationaux en neurosciences. Les collaborations avec les États-Unis et la France apparaissent toujours aussi satisfaisantes, mais celles

Diversifier les collaborations internationales

[39] On pourrait, par exemple, apporter certaines modifications aux programmes de médecine afin d'offrir la possibilité à ceux qui le désirent de s'orienter vers la recherche dans le cadre de leurs années de formation en spécialité, en concentrant, par exemple, l'ensemble du temps déjà alloué à la recherche et en allongeant d'une année le programme. Ainsi, le futur spécialiste pourrait bénéficier durant sa formation d'une période de deux années consécutives consacrées à la recherche.

qui sont entretenues avec les réseaux les plus performants au Japon, au Royaume-Uni et dans les pays scandinaves gagneraient à être renforcées. Le Brésil, la Chine et l'Inde sont des acteurs relativement nouveaux qui semblent, toutefois, déterminés à prendre une place accrue dans le domaine. Le Québec trouverait peut-être là une occasion d'exporter son expertise scientifique et organisationnelle.

Le financement

Optimiser le financement

Il faut tenter d'optimiser le financement dans le secteur des neurosciences. Ce travail d'optimisation n'est pas simple, mais il est profitable lorsqu'il permet la mise en commun des ressources, l'achat de matériel onéreux et rapidement obsolète, la création de groupes de recherche autour de nouveaux sujets d'étude. Il importe donc de bien ajuster le financement requis aux besoins de la programmation scientifique.

La veille sur le domaine

Assurer la veille

Le Conseil n'a pas eu la tâche facile quand est venu le temps d'évaluer la situation des neurosciences au Québec, en raison de l'absence d'études comparatives à l'échelle mondiale sur le financement des neurosciences ou encore sur l'importance des neurosciences dans le secteur industriel[40]. De telles informations se seraient sans doute avérées fort utiles pour approfondir l'évaluation du domaine au Québec.

Il va de soi que le Québec n'a pas la responsabilité de mener ce type d'études. Néanmoins, une veille régulière devrait être assurée par le FRSQ, en collaboration avec les acteurs du milieu des neurosciences, afin de poursuivre les efforts déployés dans l'étude qui a accompagné le présent avis en matière de collecte de données. Cette veille devrait avoir pour objet le domaine des neurosciences au Québec, au Canada et, dans la mesure du possible, dans le monde et porter sur les éléments d'information suivants :

- l'état de la recherche en neurologie, en santé mentale et dans les différents domaines reliés aux neurosciences afin de repérer les segments de recherche où le Québec a des chances de faire des percées;
- la nature et l'importance des besoins en santé et en services sociaux auxquels la recherche en neurosciences peut répondre;
- la relève;
- le financement public et privé;

[40] « Ironically, Neurosciences is one of the larger and more important clinical areas to many health systems, but is also one of the least evaluated from a business perspective. » Voir Tiber Group, *Evaluating Strategic Opportunities in the Neurosciences*, Special Report No. 16, Tiber Group, L.L.C., 2002, p. 3.

- la situation des réseaux les plus influents;
- le *monitoring* du plan de développement scientifique.

3.2 Développer une industrie des neurosciences couvrant la filière du médicament, le secteur du matériel médical et le secteur des services

Un secteur industriel innovant et dynamique

Le Conseil affirme que les neurosciences devraient être reconnues comme l'un des créneaux stratégiques du Québec. Cela signifie qu'il faut non seulement maintenir l'effort de soutien à la recherche scientifique, mais aussi en maximiser les retombées dans l'économie et dans la société. Le développement d'un secteur industriel innovant et fortement appuyé par la base de recherche existante forme l'un des volets essentiels d'une telle stratégie, la valorisation commerciale des résultats de la recherche en constituant la variable clé. Il importe également d'agir sur les facteurs de stimulation de l'innovation dans les entreprises existantes et sur la création d'entreprises innovantes, que ce soit dans la filière du médicament, dans le secteur du matériel médical ou dans celui des services.

Le schéma du SNI

Une façon de visualiser une stratégie de développement de l'innovation dans les entreprises d'un secteur de haut savoir est d'utiliser le schéma du système national d'innovation (voir encadré), présenté à plusieurs reprises par le Conseil, et de l'appliquer à la réalité sectorielle des neurosciences comme on l'a fait dans le passé pour d'autres secteurs de pointe, notamment l'aérospatiale et le secteur pharmaceutique[41].

En se reportant au schéma sur les variables clés de l'innovation dans le secteur des neurosciences, on constate que la première recommandation s'est surtout attaquée à la base de recherche et à la formation, deux composantes de l'environnement global qui ont leur finalité propre, mais qui conditionnent fortement la capacité des entreprises à innover. Dans un deuxième temps, le Conseil veut attirer l'attention sur les éléments qui relèvent de l'entreprise innovante elle-même, c'est-à-dire :

- La recherche-développement de produits et procédés novateurs, qui est la voie par excellence vers l'innovation. Elle permet de créer de nouveaux produits ou procédés, mais elle sert aussi à développer la capacité d'absorption des nouvelles technologies émergentes.

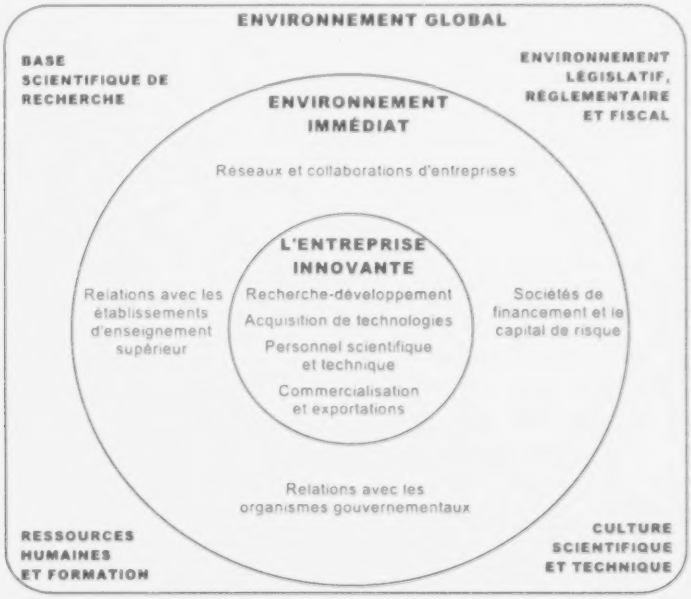
[41] Conseil de la science et de la technologie, *L'innovation, une exploration sectorielle*, 1999.

Le système québécois d'innovation

Au centre du système se trouve **l'entreprise innovante** elle-même, avec les ressources propres qu'elle mobilise dans l'innovation : personnel scientifique et technique, ressources financières, fonctions de gestion, marketing, R-D, etc.

Au deuxième niveau, se situe **l'environnement immédiat** de l'entreprise, celui de ses réseaux. Car l'entreprise n'innove pas seule. Elle interagit avec d'autres entreprises et divers organismes partenaires ou de soutien, privés et publics, comme les universités et les collèges, les centres et laboratoires gouvernementaux, les sociétés de financement et de capital de risque, etc.

Le troisième niveau est celui de **l'environnement global,** celui de l'ensemble des conditions sociales, culturelles et juridiques qui forment une sorte de toile de fond à l'innovation des entreprises. La base de recherche scientifique, le système de formation des ressources humaines, le régime législatif, réglementaire et fiscal, la culture scientifique et technique de la population constituent autant de facteurs qui exercent une influence souvent déterminante, quoique plus indirecte, sur l'entreprise innovante et sur les rapports qu'elle entretient avec ses différents partenaires.

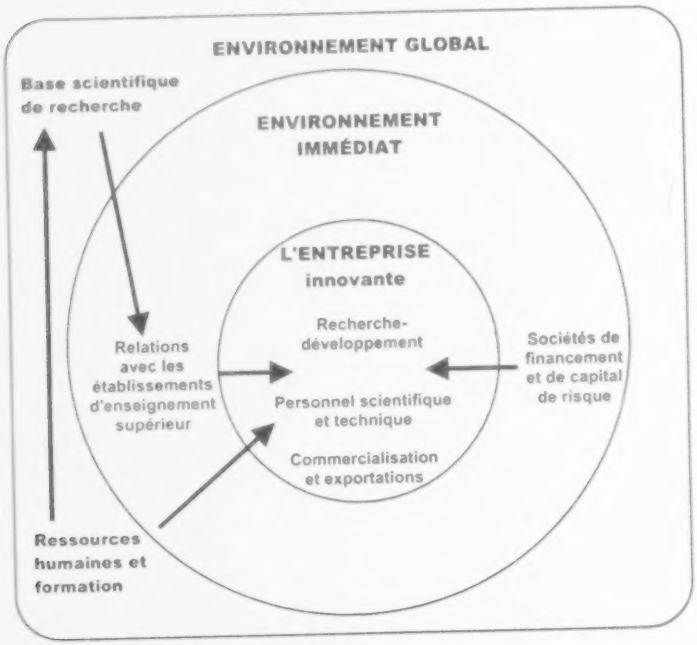


Source : Conseil de la science et de la technologie,
Intensifier l'innovation : les orientations prioritaires, Avis, 1999.

- Le personnel scientifique et technique, qui s'avère un facteur clé de l'innovation puisque ce sont les personnes qui créent, transportent et utilisent la connaissance.

- La commercialisation et les exportations, qui sont l'aboutissement du processus d'innovation, puisque c'est l'accueil réservé par les marchés qui décide de la réussite d'une innovation[42].

Variables clés de l'innovation dans le secteur des neurosciences



Le Conseil juge important de considérer également les interactions de l'entreprise innovante avec les divers acteurs de son environnement immédiat :

- Les établissements d'enseignement supérieur : la valorisation des résultats de la recherche et du développement est essentielle.

- Les sociétés de financement et de capital de risque : le financement doit être adéquat et adapté aux caractéristiques des entreprises du secteur des neurosciences.

---

[42] Conseil de la science et de la technologie, *Pour une politique québécoise de l'innovation. Rapport de conjoncture 1998*, 1997.

Le Conseil recommande donc :

Recommandation 2

Que le ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE), en collaboration avec ses principaux partenaires, favorise la valorisation commerciale de la recherche en neurosciences, de façon à assurer l'essor d'un secteur industriel dans ce domaine au Québec.

Les objectifs et les moyens d'action proposés devraient porter notamment sur la valorisation commerciale de la recherche, le capital de risque et la veille sur l'industrie des neurosciences dans le monde.

La valorisation commerciale de la recherche

La valorisation commerciale vise à encourager la création d'entreprises – entreprises en démarrage (*start-up*) et entreprises dérivées (*spin-off*) – et le développement de produits à haute valeur ajoutée au sein des entreprises existantes. Elle suppose des liens étroits avec le milieu universitaire, ces liens pouvant prendre des formes diverses : recherche contractuelle, activités de consultation, commercialisation de la propriété intellectuelle et transfert technologique[43].

Visée de la valorisation commerciale de la recherche

La valorisation commerciale doit donc, grâce à une collaboration avec les associations industrielles et les organismes fédéraux, viser l'augmentation des investissements en R-D et l'embauche de personnel scientifique au sein des entreprises. Elle doit aussi viser, par une collaboration avec les universités, l'augmentation de la prise de brevets et chercher à faciliter le transfert des brevets universitaires vers l'industrie.

À cette fin, il sera important de mieux comprendre les conditions particulières qui accompagnent la création d'une entreprise en neurosciences, notamment au regard de son financement, et de suivre attentivement l'évolution de leur nombre.

Ne pas oublier les entreprises de services

Il faut certes valoriser le transfert des résultats de la recherche (molécules brevetées, dispositifs neurotechnologiques) vers les entreprises de la filière du médicament ou du matériel médical, mais il importe tout autant d'encourager la valorisation des connaissances et des compétences vers les entreprises de services[44], notamment celles des services professionnels, scientifiques et techniques.

---

[43] Conseil de la science et de la technologie, *La valorisation de la recherché universitaire. Clarification conceptuelle*, document de travail, 8 décembre 2004.

[44] Conseil de la science et de la technologie, *L'innovation dans le secteur des services. Pour une stratégie de l'immatériel*, 2003.

Enfin, les entreprises actives en neurosciences doivent absolument compter sur la création de consortiums nationaux et internationaux qui leur permettent de développer conjointement des produits ou des services, en plus de formuler des demandes communes auprès des instances gouvernementales ou des institutions financières. De plus, des efforts devraient être faits afin d'accroître les investissements des grandes entreprises en misant sur les ententes qu'ont les chercheurs avec les entreprises existantes, de même que sur les réseaux auxquels ceux-ci appartiennent.

Consortiums nationaux et internationaux

Le capital de risque

Le capital de risque a été et demeure l'outil par excellence pour encourager la création d'entreprises dans les secteurs de haut savoir, au Québec comme partout ailleurs dans le monde. Il y aurait lieu de s'interroger sur l'adéquation de cet outil aux besoins financiers des entreprises de la filière du médicament qui s'intéressent aux maladies neurologiques et psychiatriques. Il faut notamment que les sociétés de financement aient une compréhension fine des caractéristiques de ces entreprises, par exemple le délai nécessaire au développement d'un nouveau produit avant que celui-ci soit autorisé à passer en phase clinique.

Un capital de risque adapté à la réalité des neurosciences

La veille sur l'industrie des neurosciences

Le Conseil pense qu'une veille permanente ayant pour objet l'industrie des neurosciences au Québec, au Canada et dans le monde devrait être instituée. Cette veille du MDEIE devrait se faire en collaboration étroite avec le milieu des neurosciences et porter notamment sur les éléments d'information soulevés aux points précédents, pour chacune des filières concernées.

Une veille industrielle à organiser

3.3 Favoriser la valorisation sociale de la recherche en neurosciences dans les milieux de pratique et la diffusion de l'information vers la population

Il est de la plus haute importance que les milieux de pratique du secteur de la santé et des services sociaux, de même que la population en général, puissent profiter des travaux et des résultats de la recherche qui est effectuée dans un domaine scientifique aussi pertinent socialement et aussi développé sur le plan des ressources que celui des neurosciences. Ce troisième volet de la stratégie proposée par le Conseil comporte essentiellement deux grands axes d'intervention, soit une plus grande valorisation sociale de la recherche en neurosciences auprès des milieux de pratique et une meilleure diffusion de l'information auprès des citoyens. Dans le premier cas, il s'agit d'une question de transfert de connaissances vers des utilisateurs; dans le second, d'un chantier de développement de la culture scientifique et technique au Québec.

Le transfert vers les milieux de pratique

La question du transfert des connaissances générées par la recherche vers les milieux de pratique n'est pas propre aux neurosciences. Il s'agit d'un problème

général, qui touche l'ensemble des disciplines scientifiques. Toutefois, le problème se pose peut-être de façon plus aiguë encore dans le secteur de la santé, où les médecins et les autres professionnels, largement débordés par la quantité d'informations nouvelles, ont peine à se tenir à jour sur les plus récentes découvertes qui se font dans leur domaine. Bien que le problème soit commun aux diverses sciences, il peut être traité de façon spécifique dans le cadre d'une stratégie intégrée de développement des neurosciences.

La diffusion de l'information dans la population

À maintes reprises au cours des dernières années, le Conseil a insisté sur l'urgence d'accroître le niveau de culture scientifique et technique de la population. L'acquisition et une appropriation raisonnable de connaissances apportent en elles-mêmes des bénéfices directs aux citoyens, en leur permettant de mieux se connaître, de mieux comprendre le monde et d'avoir ainsi une meilleure prise sur l'environnement complexe dans lequel ils vivent. Un effort de diffusion de la culture scientifique et technique concerne tous les champs disciplinaires sans exception. Cela n'empêche pas que des efforts particuliers soient entrepris de façon sectorielle. Ainsi, le Conseil est d'avis que toute cette dimension sociale de la diffusion de l'information auprès de la population doit être prise en compte directement dans le cadre d'une stratégie visant le développement intégré des neurosciences.

Les instances visées

C'est le ministère du Développement Économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE) qui, au gouvernement du Québec, a la responsabilité première en matière de valorisation sociale de la recherche et de diffusion de la culture scientifique. Il lui appartient donc d'assurer la mise en œuvre de la recommandation qui suit. Il lui faudra cependant travailler en étroite collaboration avec le Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ) et les autres acteurs engagés dans l'élaboration de la programmation scientifique des neurosciences, mais également avec le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS), responsable du réseau de la santé.

Le Conseil recommande donc :

Recommandation 3

Que le ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE) et ses partenaires favorisent la valorisation sociale de la recherche en neurosciences, de même que la diffusion de l'information en ce domaine auprès de la population.

L'effort doit porter sur la diffusion des connaissances générées par la recherche dans la formation initiale des praticiens de la santé et des services sociaux, dans leur formation continue, ainsi que vers la population.

La formation initiale et continue des praticiens de la santé et des services sociaux

L'ampleur de l'effort fourni en recherche au Québec dans le domaine des neurosciences doit se répercuter dans les milieux susceptibles d'utiliser les connaissances ainsi générées. Les acteurs du réseau de la santé et des services sociaux doivent pouvoir améliorer continuellement leurs pratiques. C'est pourquoi, dans le cadre de la stratégie de développement des neurosciences préconisée par le Conseil, des efforts importants doivent être faits afin d'évaluer et d'améliorer le transfert vers les milieux de pratique de nouvelles connaissances théoriques et pratiques en neurosciences. Les facultés de médecine des universités, les centres et instituts de recherche, de même que le ministère de la Santé et des Services sociaux, ont tous une responsabilité à assumer ici. Il faut revoir les canaux de transmission existants, de même que la qualité et la pertinence de l'information qui est transmise, aussi bien dans la formation de base des médecins et des autres praticiens de la santé que dans la formation professionnelle continue qui leur est nécessaire tout au long de leur carrière.

Revoir les canaux de transmission existants, particulièrement la formation

Il faut également veiller à ce que la communication s'établisse dans les deux sens afin que les chercheurs prennent en compte les besoins des milieux de pratique. Enfin, le transfert des connaissances vers la pratique s'applique aux gestionnaires responsables des politiques et des programmes en santé et services sociaux, qui ont tout intérêt à se tenir au courant des résultats des plus récentes recherches en neurosciences.

Une communication dans les deux sens

L'information issue des neurosciences devrait aussi circuler d'une façon générale vers les autres milieux professionnels, et en particulier celui de l'éducation. Une partie importante de la recherche en neurosciences porte en effet sur les fonctions cognitives, comme la mémoire et l'inteliection (formation de concepts), qui sont déterminantes dans le succès de l'intervention pédagogique. Il ne faut pas oublier non plus que plusieurs des problèmes de comportement et d'apprentissage qui affectent les jeunes à l'école ont aussi des composantes neurologiques majeures. Les enseignants et les autres professionnels du milieu de l'éducation devraient donc être sensibilisés davantage à ces questions. Le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport a un rôle important à jouer à cet égard.

Autres milieux professionnels

La diffusion des connaissances et l'information de la population

Par la nature de leurs objets de recherche et par leurs promesses d'une meilleure compréhension, d'un meilleur traitement et d'une meilleure prévention des problèmes, les neurosciences présentent un intérêt majeur pour l'ensemble de la société. On n'a qu'à penser aux questions de toxicomanie et de dépendance de toutes sortes, à la violence et à la criminalité, aux troubles d'apprentissage scolaire, sans parler des maladies neurodégénératives qui frappent un très grand nombre de familles dans une population québécoise vieillissante. On

Un domaine en forte demande sociale

peut à ce propos citer l'enquête réalisée par le Conseil dans le cadre de son projet *Perspectives STS*, pour connaître les préoccupations de la population québécoise face à l'avenir[45]. En l'occurrence, 41 % des répondants ont déclaré que « la santé psychologique de la population » allait se détériorer au cours des vingt prochaines années. C'est, parmi douze « réalités » proposées, celle qui obtient le taux d'adhésion le plus élevé. Il y a donc là une demande potentielle d'information qui devrait pouvoir être satisfaite.

Mieux faire connaître les neurosciences à la population

Dans le contexte actuel de l'augmentation des dépenses liées à la santé, on ne peut espérer responsabiliser davantage les citoyens sur leur état de santé et les voir adopter des habitudes de vie plus saines sans leur offrir régulièrement une information solide sur le plan scientifique, qu'on aura pris soin de vulgariser. Cette remarque a beau s'appliquer à tous les domaines des sciences de la santé, elle convient particulièrement bien aux neurosciences. Or, le Conseil a pu constater à maintes reprises au cours de la préparation du présent avis que la recherche qui s'effectue dans ce domaine au Québec et au Canada est relativement peu connue de la population, et même des décideurs des milieux politiques et économiques. Ce constat est déconcertant, car on parle ici d'une recherche québécoise de calibre international, couvrant l'ensemble du domaine et mobilisant des investissements nettement supérieurs à la moyenne. À ce propos, le Conseil proposait, dans son rapport de conjoncture 2004[46], de reconnaître que les organismes de culture scientifique et le milieu communautaire peuvent jouer un rôle beaucoup plus actif d'interface entre la communauté scientifique et la population. La suggestion devient tout à fait appropriée dans le présent contexte.

Enjeux éthiques

Une stratégie équilibrée de développement des neurosciences devrait donc accorder une importance particulière aux questions de diffusion de l'information dans la société. Une meilleure connaissance des neurosciences dans la population deviendra sans doute un enjeu majeur dans les prochaines années, puisque des controverses sociales et éthiques devraient animer le débat public dans une démocratie comme le Québec. Signalons à cet égard que la Commission de l'éthique de la science et de la technologie, qui relève du Conseil, se penchera prochainement sur les questions éthiques soulevées par le domaine des neurosciences.

---

[45] Conseil de la science et de la technologie, *Les préoccupations des Québécois et des Québécoises face au futur*, février 2005.

[46] Conseil de la science et de la technologie, *La culture scientifique et technique, une interface entre les sciences, la technologie et la société. Rapport de conjoncture 2004*.

Annexe 1
Membres du comité de pilotage

Président

M. Martin Godbout, président
Hodran inc.

Membres experts

Dr. Alain Beaudet, président-directeur général
Fonds de la recherche en santé du Québec

M. Stéphane Bédard, fondateur
Vice président exécutif et chef de l'exploitation
Victhom Bionique Humaine

M. Yves De Koninck, directeur
Centre international de recherche et de formation en neurophotonique
Centre de recherche Université Laval Robert-Giffard

Dr. Francine Gervais, vice-présidente
Recherche et développement
Neurochem inc.

Mme Hélène Payette, directrice
Institut universitaire de gériatrie de Sherbrooke-Centre de recherche sur le vieillissement

Dr. Rémi Quirion, directeur scientifique
Institut des neurosciences, de la santé mentale et des toxicomanies
Centre de recherche de l'Hôpital Douglas (Université McGill)

Dr. Serge Rossignol, directeur
Centre de recherche en sciences neurologiques
Université de Montréal

Conseil de la science et de la technologie

M. Alain Bergeron, secrétaire général par intérim

M. Richard Blanchette, agent de recherche

Annexe 2
Membres du Conseil de la science et de la technologie

Présidente

Mme Hélène P. Tremblay, présidente
Conseil de la science et de la technologie

Membres

Mme Francine Bonicalzi, présidente-directrice générale
Technopole - Vallée du Saint-Maurice

M. Jocelyn Boucher, directeur
Centre hospitalier de l'Université de Montréal
Direction des ressources financières et des partenariats économiques

Mme Louise Dandurand, présidente-directrice générale
Fonds québécois de la recherche sur la société et la culture

Mme Édith Deleury, professeure titulaire
Faculté de droit
Université Laval

M. Jean-Claude Forest, président
Commission de la recherche
Université Laval

M. Robert Gagné, professeur titulaire
École des Hautes études commerciales de Montréal
Institut d'économie appliquée

M. Pierre-André Julien, professeur et titulaire de la Chaire Bombardier
Institut de recherche sur les PME
Université du Québec à Trois-Rivières

M. Pierre Lacroix, président
Bioxel Pharma inc.

Mme Nicole Lafleur, directrice générale
Cégep de Lévis-Lauzon

M. Alain Lavoie, président-directeur général
Biotechnologies Océanova inc.

M. Hany Moustapha, senior fellow et directeur
Programme Technologie, formation technique et collaboration
Pratt & Whitney Canada

M. Jean Nicolas, professeur titulaire
Université de Sherbrooke
Département de génie mécanique

M. Perry Niro, directeur général et chef de la direction
BioQuébec

M. Jacques Simoneau, président et chef de la direction
Hydro-Québec CapiTech inc.

Observateurs

M. Jacques Babin, sous-ministre adjoint à la politique scientifique
Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'exportation
Mission Recherche, Science et Technologie

M. Gilles Demers, sous-ministre adjoint à l'industrie
Ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'exportation

M. Michel Desrochers, directeur général
Institut de recherche en biotechnologie

Conseil de la science et de la technologie

M. Alain Bergeron, secrétaire général par intérim

Annexe 3
Liste des travaux du Conseil depuis 1998

La liste qui suit mentionne toutes les publications parues depuis 1994. Il est possible de les consulter et de les télécharger en accédant au site Web du Conseil (www.cst.gouv.qc.ca). Un résumé en langue anglaise et un autre en espagnol accompagnent plusieurs titres dans le site.

À moins d'indication contraire, les documents sont également disponibles en version imprimée et peuvent être obtenus en adressant une demande au :

Conseil de la science et de la technologie
1200, route de l'Église, bureau 3.45
Sainte-Foy QC G1V 4Z2
Téléphone : (418) 528-0965
Courriel : lauraine.berard@cst.gouv.qc.ca

Plan stratégique

Plan stratégique 2001-2004
Juin 2001, 19 p.; ISBN : 2-550-37537-8

Histoire du Conseil

Le Conseil de la science et de la technologie, 30 ans d'histoire
Juin 2001, 158 p.; ISBN : 2-550-37537-8

Rapports de conjoncture

La culture scientifique et technique. Une interface entre les sciences, la technologie et la société. Rapport de conjoncture 2004
2004, 230 p.; ISBN 2-550-42266-X

Pour des régions innovantes – Rapport de conjoncture 2001
Mars 2001, 263 p.; ISBN : 2-550-37117-8

Pour une politique québécoise de l'innovation – Rapport de conjoncture 1998
Décembre 1997, v, 73 p.; ISBN : 2-550-32399-8

Avis

Le don et la transplantation d'organes: dilemmes éthiques en contexte de pénurie
Novembre 2004, 142 p.; ISBN : 2-550-43415-3

L'innovation dans les municipalités du Québec. Perceptions des acteurs et défis
Mai 2004, 207 p.; ISBN : 2-550-42269-4

L'avenir de la main-d'œuvre hautement qualifiée. Une question d 'ajustements
Mars 2004, 218 p.; ISBN 2-550-42267-8

Pour une gestion éthique des OGM
Décembre 2003, 144 P.; ISBN 2-550-41769-6

L'innovation dans les services. Pour une stratégie de l'immatériel
Juin 2003, 137 p.; ISBN 2-550-40979-5

Bâtir et innover : tendances et défis dans le secteur du bâtiment
Mars 2003, 272 p.; ISBN : 2-550-40704-0

Les enjeux éthiques des banques d'information génétique : pour un encadrement démocratique et responsable
Février 2003, 97 p.; ISBN : 2-550-40365-7

OGM et alimentation humaine : impacts et enjeux pour le Québec
Janvier 2002, 176 p.; ISBN : 2-550-38650-7

Innovation et développement durable : l'économie de demain
Septembre 2001, 117 p.; ISBN : 2-550-37999-3

Les nanotechnologies : la maîtrise de l'infiniment petit
Juin 2001, 79 p.; ISBN : 2-550-37715-X

La bio-informatique au Québec : un levier essentiel du développement des bio-industries
Janvier 2001, 48 p.; ISBN : 2-550-36957-2

Innovation sociale et innovation technologique : l'apport de la recherche en sciences sociales et humaines
Février 2000, vii, 63 p.; ISBN : 2-550-35588-1

Des catalyseurs de l'innovation : les centres de transfert et leur financement
Janvier 2000, ix, 110 p.; ISBN : 2-550-35331-5

Connaître et innover : des moyens concurrentiels pour la recherche universitaire
Novembre 1999, xi, 142 p.; ISBN : 2-550-35203-3

L'état acteur de l'innovation : la science et la technologie dans l'administration gouvernementale
Juin 1999, v, 71 p.; ISBN : 2-550-34646-7

Intensifier l'innovation : les orientations prioritaires
Février 1999, 1, 29 p.; ISBN : 2-550-34098-1

L'innovation, une exploration sectorielle (aérospatiale, pharmaceutique, produits forestiers)
Janvier 1999, vi, 87 p.; ISBN : 2-550-34004-3

L'entreprise innovante au Québec : les clés du succès
Juin 1998, vii, 90 p.; ISBN : 2-550-33284-9

Des formations pour une société de l'innovation
Juin 1998, vii, 93 p.; ISBN : 2-550-33283-0

Mémoires

Consultation sur le projet de Plan de développement durable du Québec - Mémoire présenté au ministre de l'Environnement
Février 2005, 24 p.

Mémoire sur l'avenir de l'enseignement collégial
Mai 2004, 29 p.

Mémoire sur le rôle de l'état québécois dans le capital de risque présenté à la commission parlementaire des finances publiques
Février 2004, 69 p.

Mémoire sur les enjeux entourant la qualité, l'accessibilité et le financement des universités au Québec
Février 2004, 41 p.

Les nouveaux enjeux de la sécurité alimentaire au Québec
Janvier 2004, 40 p.

Mémoire du Conseil de la science et de la technologie sur la formation du nouveau ministère des Finances, de l'Économie et de la Recherche et ses conséquences sur le développement de la science, de la technologie et de l'innovation au Québec
Décembre 2002, 18 p.; document disponible uniquement sur le site Web du Conseil.

L'université dans la société du savoir et de l'innovation. Mémoire sur le projet de politique *L'université devant l'avenir : perspectives pour une politique gouvernementale à l'égard des universités*
Juin 1998, ii, 23 p.; ISBN 2-550-33298-9

La science et la technologie à l'école. Mémoire sur la science et la technologie dans la réforme du curriculum de l'enseignement primaire et secondaire
Juin 1998, ii, 11 p.; ISBN : 2-550-33299-7

Études et recherches

La Valorisation de la recherche universitaire - Clarification conceptuelle
Février 2005, 40 p.
Par Alain Grisé

La commercialisation des résultats de la recherche universitaire. Une revue de littérature
Janvier 2005, 47 p.
Par Pierre Milot

Les travailleurs hautement qualifiés au Québec. Portrait dynamique du marché du travail
Mars 2004, 328 p.
Par le Centre d'étude sur l'emploi et la technologie (CETECH)

La relève dans le secteur des emplois hautement qualifiés : recension des travaux
Février 2004, 68 p.
Par Mélanie Anctil

La culture scientifique et technique au Québec. Synthèse des consultations
Novembre 2003, 55 p.
Par Lise Santerre et André Lemelin

Les travailleurs de l'économie du savoir
Août 2003, 74 p.
Par Frederic Lesemann et Christian Goyette

Les travailleurs hautement qualifiés dans le contexte du vieillissement de la main-d'œuvre
Août 2003, 62 p.
Par Frederic Lesemann

Les organisations œuvrant dans le domaine de l'innovation sociale : résultats d'une recherche dans Internet
Août 2003, 39 p.
Par Mario Fraser

Rapport de recherche sur la couverture médiatique au Québec en matière d'alimentation et d'OGM
Juin 2003, 29 p.
Par Richard Lair et Alain Létourneau
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Les banques d'information génétique dans le monde : aperçu de la situation
Janvier 2003, 32 p.
Par David Boucher et Emmanuelle Trottier
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Financement de la recherche dans le secteur des biotechnologies : le cas des OGM
Janvier 2003, 23 p.
Par Guillaume Lavallée
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Le consentement libre et éclairé : un paradigme révolu en matière de recherche génétique sur les populations?
Décembre 2002, 18 p.
Par Dany Joncas
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Les représentations véhiculées dans la culture amérindienne du Québec en ce qui a trait à l'alimentation, aux organismes génétiquement modifiés (OGM) et aux transformations que l'humain peut apporter à la nature
Décembre 2002, 49 p.
Par Jose Lopez Arellano
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

La culture scientifique et technique au Québec : bilan
Décembre 2002, 215 p.; ISBN : 2-550-40036-4

Enquête sur la culture scientifique et technique des Québécoises et des Québécois
Décembre 2002, 244 p.; ISBN : 2-550-40035-6

Le soutien public à la culture scientifique et technique dans quelques États : un aperçu
Décembre 2002, 151 p.
Par André Lemelin
Disponible uniquement sur le site Web (www.cst.gouv.qc.ca/html/publications.html)

Est-il possible de faire... sans la transgénèse?
Novembre 2002, 13 p.
Par Jean-François Sénéchal
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Le christianisme et les OGM
Novembre 2002, 13 p.
Par André Beauchamp
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Cuisine de Dieu – Aliments profanes. Prohibitions alimentaires du judaïsme, organismes génétiquement modifiés et enjeux éthiques
Octobre 2002, 52 p.
Par Michaël Elbaz et Ruth Murbach
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Les banques de données génétiques et le droit étranger
Octobre 2002, 30 p.
Par Dany Joncas
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Le bouddhisme et les OGM
Septembre 2002, 33 p.
Par Charles-Anica Endo
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

L'Islam et les OGM
Septembre 2002, 35 p.
Par Ali Maarabouni
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Les modifications génétiques chez les microorganismes
Août 2002, 17 p.
Par Isabelle Boucher
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

OGM végétaux
Août 2002, 40 p.
Par Éric Dion
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Vue d'ensemble des techniques usuelles en transgénèse animale
Août 2002, 9 p.
Par Jean-François Sénéchal
Document complémentaire à l'avis *Pour une gestion éthique des OGM*
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Développement durable et innovation : tendances environnementales et accords internationaux
Par Roger Bertrand
Septembre 2001, 37 p.; ISBN : 2-550-38042-8
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Développement durable et innovation : expériences dans quelques pays et régions
Par Louis Babineau
Septembre 2001, 113 p.; ISBN : 2-550-38043-8
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Orientations et moyens pour accélérer l'innovation en région
Document d'information
Par Alain Grisé
Avril 2001, 11 p.
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Aperçu de la recherche sur les nanotechnologies
Par Daniel Lebeau
Juin 2001, 55 p.; ISBN : 2-550-37794-X
Disponible uniquement sur le site Web (www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications.html)

Les indicateurs de culture scientifique et technique
Par Benoît Godin, Yves Gingras et Éric Bourneuf
Janvier 1998, 37 p.; ISBN : 2-550-32581-8

Rapport d'enquête sur le Programme de congé fiscal pour les chercheurs étrangers
Par Stéphane Castonguay
Janvier 1998, ii, 24 p.; ISBN : 2-550-32503-6

Actes de colloques

Innovation et développement durable
Actes du colloque tenu à Montréal le 23 novembre 2001.
Mars 2002, 54 p.; ISBN : 2-550-38753-8

Sciences et technologies : des visées d'avenir
Actes du colloque tenu à Montréal le 17 mai 2000 dans le cadre du 68e Congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences.
Janvier 2001, 142 p.; ISBN : 2-550-36949-1

Rapports annuels

Rapport annuel de gestion 2003-2004
Octobre 2004, 33 p.; ISBN 2-550-42675-4 et ISSN 1708-458X / 1708-8658

Rapport annuel d'activité 2003-2004
Octobre 2004, 60 p.; ISBN 2-550-42674-6 et ISSN 1708-4539 / 1708-8666

Rapport annuel de gestion 2002-2003
Octobre 2003, 44 p.; ISBN 2-550-41318-0 et ISSN 1708-458X / 1708-8658

Rapport annuel d'activité 2002-2003
Octobre 2003, 70 p.; ISBN 2-550-41317-2 et ISSN 1708-4539 / 1708-8666

Rapport d'activité 2001-2003 et perspectives d'avenir
Octobre 2003, 30 p.; ISBN 2-550-41684-8 et ISSN 1708-8534

Brochure

Les banques d'information génétique : «C'est BIG!»
Mars 2004, 27 p.
Par Luc Dupont

Article de revue

La fonction conseil en science et technologie. Le cas du Québec
Décembre 2003., 8 p.
Futuribles – Par Hélène P. Tremblay et Alain Bergeron

Document de consultation

Rapport de consultation sur les enjeux éthiques du don et de la transplantation d'organes
Novembre 2004, 103 p., ISBN : 2-550-43416-1
Par la firme Jolicoeur et associés

Les enjeux éthiques du don et de la transplantation d'organes
Mai 2004, 41 p.; ISBN : 2-550-42564-2
Par David Boucher

Conseil de la science
et de la technologie
Québec
www.cst.gouv.qc.ca